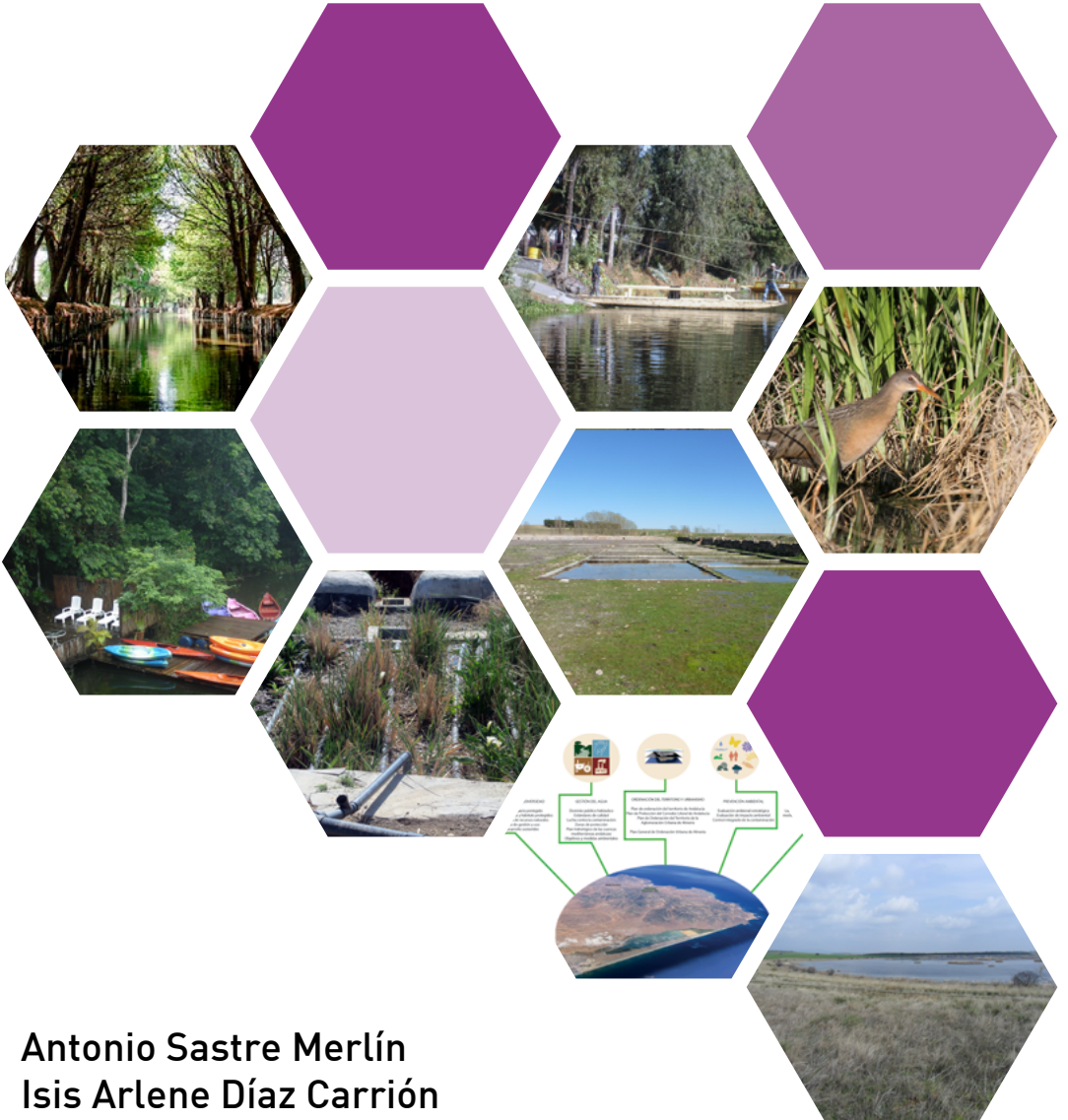


Gestión de humedales españoles y mexicanos

Apuesta conjunta por su futuro



Antonio Sastre Merlín
Isis Arlene Díaz Carrión
Jorge Ramírez Hernández
(Coordinación)

Gestión de humedales españoles y mexicanos

Apuesta conjunta por su futuro

© coordinación de: Antonio Sastre Merlín, Isis Arlene Díaz Carrión y Jorge Ramírez Hernández
Ayudantes de coordinación: Mario Ballesteros Olza y Samuel García Díaz

© de los textos: sus autores.

Diseño, maquetación y corrección: Elisa Borsari y Ronda Vázquez Martí.

© de esta edición: Universidad de Alcalá • Servicio de Publicaciones, 2015
Plaza de San Diego, s/n • 28801, Alcalá de Henares (España).
Página web: www.uah.es

Con la colaboración de la Universidad Autónoma de Baja California (México).



La reproducción total o parcial de este libro (incluido su diseño), su alquiler, su incorporación a un sistema informático, su transmisión o transformación en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin la autorización previa y por escrito de los titulares del *copyright*, vulnera derechos reservados.

I.S.B.N.: 978-84-16599-15-8

Gestión de humedales españoles y mexicanos

Apuesta conjunta por su futuro

Coordinación:

Antonio Sastre Merlín

Isis Arlene Díaz Carrión

Jorge Ramírez Hernández



Universidad
de Alcalá

SERVICIO DE PUBLICACIONES

2015

Contenido

Prólogo.....	7
<i>Cristina Narbona Ruiz</i>	
Introducción.....	11
<i>Osvel Hinojosa Huerta</i>	
HUMEDALES NATURALES: ESTUDIOS DE CASO.....	14
Patrimonio natural en la región de Murcia (España): protección y efectos turísticos. El ejemplo de la laguna salina costera del Mar Menor.....	15
<i>Aurelio Cebrián Abellán, Ramón García Marín</i>	
Los últimos humedales en el Distrito Federal: Xochimilco y Tláhuac, servicios ambientales y la ruta hacia su preservación.....	43
<i>Raúl Castelán Cabañas, Ameris Ixchel Contreras Silva, Felipe Omar Tapia Silva</i>	
Los humedales en el suelo de conservación en el Distrito Federal: Xochimilco y Tláhuac ante la problemática social de sus habitantes.....	70
<i>Irma Escamilla Herrera, Flor M. López, Clemencia Santos Cerquera</i>	
Descubriendo un complejo de humedales único en el centro de la Península Ibérica: las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava.....	94
<i>Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, Montserrat Morales Pérez, Elena González Cárdenas, Máximo Florín Beltrán</i>	
Ecoturismo en humedales de la Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas (Veracruz, México).....	119
<i>Isis Arlene Díaz Carrión, Valeria Vega Vela</i>	

Aguas subterráneas y superficiales en el comportamiento de las Lagunas de Puebla de Beleña (Guadalajara) 140
Antonio Sastre-Merlín, Silvia Martínez-Pérez, Carlos Carrera Olivares, Eugenio Molina-Navarro

Vicisitudes de los humedales en La Mancha. El caso particular de las Salinas del Pinilla 170
José Ramón Aragón Cavaller

Gestión y administración de los valores de los humedales: un paso más allá de su restauración ecológica 190
Amanda del Río Murillo, Alberto Martín Vega

HUMEDALES ARTIFICIALES: ESTUDIOS DE CASO

El humedal artificial Las Arenitas (Baja California, México): funcionamiento hidrológico-ecológico y su potencial lúdico 201
Jorge Ramírez-Hernández, Edgar Carrera-Villa

Implementación y evaluación de un sistema de tratamiento de agua residual natural a través de humedales construidos en el noroeste de México 219
Michelle Hallack Alegría, Juan Carlos Payan Ramos, Alejandro Mungaray Moctezuma, Álvaro López Lambraño, Mario González Duran, María Cristina Castañón Bautista y María Chávez Pérez-Banuet

PERSPECTIVA LEGAL DE LA PROTECCIÓN DE LOS HUMEDALES MEXICANOS Y ESPAÑOLES

Protección jurídica de los humedales en España 236
Abel La Calle Marcos

Instrumentos Jurídicos de Protección para los Humedales en México 263
Elisa Enriqueta de Jesús Sedas Larios

Prólogo

Nada más grato para mí que prologar esta nueva obra colectiva de las Universidades de Alcalá (UAH) y Autónoma de Baja California (UABC). Vale la pena recordar, de entrada, los numerosos vínculos que me unen a la primera de ellas: desde el apoyo a la creación de la Facultad de Ciencias Ambientales al establecimiento del Observatorio para la Sostenibilidad de España (OSE). Esta, con sus profesores y sus alumnos, jugó un papel muy destacado en muchas de las iniciativas que emprendimos desde 1993, cuando asumí –como Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Vivienda– mi primera responsabilidad pública en materia ambiental.

En particular, agradezco esta oportunidad para reiterar mi afecto y mi respeto a Antonio Sastre, geólogo y profesor de Geodinámica Externa de la UAH, uno de los coordinadores de esta obra, dedicada a experiencias de gestión de humedales en México y en España. Se trata de una recolección de estudios de caso que permite una aproximación muy interesante a la aplicación efectiva de las obligaciones establecidas en el Convenio Ramsar y en las respectivas legislaciones nacionales, profundizando en los obstáculos que impiden avanzar más rápidamente en la conservación y uso sostenible de los humedales.

No me extenderé en la importancia ecológica de las zonas húmedas: no es casual que el Convenio Ramsar date de una fecha muy anterior a los grandes Convenios internacionales de contenido ambiental, como los relativos al agotamiento de la capa de ozono, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la lucha contra la desertificación, entre otros. Los humedales son ecosistemas de extraordinario valor para numerosas aves, así como para muchas especies acuáticas y terrestres; pero han sufrido alteraciones incluso más intensas que otros hábitats, como consecuencia de su notable vulnerabilidad –inherente al delicado equilibrio hídrico que permite su existencia– y también a las enfermedades asociadas a las ciénagas, que justificaban su desecación. A menudo, además, los humedales se ubican en zonas litorales, donde la expansión del turismo y de la construcción residencial han sido los principales causantes de su desaparición.

España no ha sido una excepción en la tendencia universal a la reducción drástica de las zonas húmedas. Hay que señalar que el mayor daño corresponde al periodo

del “desarrollismo”, en las décadas de los sesenta y setenta, durante la rápida transformación en los usos del suelo, que se produjo sin ningún tipo de sometimiento a normas de protección ambiental o de ordenación del territorio.

De hecho, ahora que existe un –justificado– análisis crítico del proyecto europeo, vale la pena reconocer que los insuficientes avances de España en materia ambiental hubieran resultado impensables si nuestro país no se hubiera incorporado en 1985 a la Unión Europea.

Sin embargo, me parece oportuno señalar las dificultades existentes para la plena aplicación de las normas internacionales, europeas y nacionales existentes, comenzando por la necesidad de seguir profundizando en el conocimiento científico de la dinámica de los humedales y en la adecuada traslación a la opinión pública de dicho conocimiento.

Los recortes presupuestarios en materia de ciencia y de educación –a mi juicio, en absoluto justificados por las exigencias de reducción del déficit público– han condicionado negativamente durante los últimos años la necesaria labor de los investigadores, en particular en el ámbito de la biodiversidad.

No creo que sea casual que la palabra “biodiversidad” haya desaparecido del organigrama del actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: se introdujo por primera vez en 2004, en la denominación tanto de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, como de la Dirección General para la Biodiversidad, del entonces Ministerio de Medio Ambiente, con la intención expresa de colocar en la agenda política un ámbito de decisiones que no había alcanzado aún el reconocimiento del cambio climático, el otro gran desafío ambiental. Afortunadamente, se mantiene en la denominación de la Fundación Biodiversidad, que ha jugado un papel muy relevante, tanto en el apoyo a proyectos de investigación como de creación de empleo asociado al conocimiento y a la protección de la biodiversidad, así como en la creación del CEHUM, el Centro de Humedales ubicado en el marjal de Gandía.

Por otro lado, desde el año 2010 se dispone de un estudio sobre valoración de los activos naturales (VANE), financiado por el Ministerio de Medio ambiente, que supone un magnífico punto de partida para avanzar en la construcción de una auténtica contabilidad “verde”, que haga visible el valor económico de nuestro patrimonio natural.

Desde el punto de vista del marco jurídico, España cuenta con una Ley sobre el Patrimonio Natural y la Biodiversidad (Ley 42/2007) que completó la trasposición de las Directivas sobre Hábitat y sobre Aves de la Unión Europea, así como de todos los convenios internacionales en esta materia, cuya correcta aplicación y desarrollo contribuiría sin duda a la mejor protección y uso de nuestros humedales. Entre otras cuestiones, esta Ley define nuevas herramientas, como la denominada “custodia del territorio”, que articula la cooperación entre agentes públicos y privados para impulsar iniciativas de conservación y gestión de la biodiversidad, algunas de las cuales se han desarrollado en Proyectos LIFE, con el correspondiente apoyo de la UE y de la Fundación Biodiversidad; sin embargo, buena parte de la Ley 42/2007 no se está aplicando.

Por ejemplo, llama la atención que a fecha de hoy, solo seis Comunidades Autónomas (Asturias, País Vasco, Rioja, Madrid, Andalucía y Valencia) hayan facilitado al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente la información correspondiente a

sus respectivos inventarios sobre zonas húmedas para su integración en el Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, tal como establece el artículo 9.3 de la Ley 42/2007, “a fin de conocer su evolución y, en su caso, indicar las medidas de protección que deben recoger los Planes hidrológicos de Demarcación; las Comunidades Autónomas facilitarán la información necesaria para mantener actualizada dicho inventario”.

Ello no significa, obviamente, que en las Comunidades Autónomas que no han facilitado dicha información no existan las correspondientes normas e inventarios sobre humedales, como bien se aprecia en este libro. Pero se pone de manifiesto cómo, ocho años después de la aprobación de la Ley 42/2007, el Gobierno central ha descuidado su obligación de impulsar la política de biodiversidad desde la permanente cooperación y colaboración con las Comunidades autónomas, respetando las correspondientes competencias. Así, no es de extrañar que tampoco se haya cumplido el artículo 49.4 de la citada Ley, que obliga al Ministerio de Medio Ambiente, con la colaboración de las Comunidades Autónomas, a elaborar Directivas para la conservación de las áreas protegidas por instrumentos internacionales, incluido el Convenio Ramsar: “Estas Directrices serán el marco orientativo para la planificación y gestión de dichos espacios, y se aprobarán mediante acuerdo de la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente”.

Todo ello conduce, en efecto, a la insuficiente aplicación del Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, aprobado en septiembre de 2011, concebido como el principal instrumento para el desarrollo de la Ley 42/2007, y, por supuesto, no solo en el ámbito de la protección de las zonas húmedas.

Especialmente grave en esta materia es el incorrecto diseño de los Planes Hidrológicos de Demarcación – pendientes de aprobación definitiva cuando se escribe este prólogo– que, salvo excepciones, no han incorporado adecuadamente la especial protección de las zonas húmedas a la que obliga la Directiva Marco del Agua de la UE. Así, nos encontramos con la inaudita incorporación, en el Plan Hidrológico del Guadalquivir, de un dragado de más de ocho metros en pleno estuario del Guadalquivir, a pesar de la sentencia del Tribunal Supremo del pasado 5 de marzo, que anula el proyecto de dicho dragado, por considerarlo incompatible con la conservación de Doñana –uno de los espacios naturales de mayor valor de Europa, que incluye humedales de importancia internacional–.

El estuario afectado por esta “medida” de planificación hidrológica –que no responde en absoluto a los criterios exigidos por la normativa europea– tiene un gran valor ambiental y también económico. Gracias al actual equilibrio entre agua dulce y agua salada, se pescan más de veinte especies de alto valor comercial, y se ha desarrollado extraordinariamente el cultivo del arroz; y ello, a pesar de que las orillas del Parque Nacional de Doñana han retrocedido entre 10 y 30 metros durante los últimos 50 años, reflejando otros procesos naturales o antrópicos que degradan estos ecosistemas.

El dragado supondría una inversión superior a los 80 millones de euros, así como la creación de 15.000 empleos (¿netos?), según sus defensores. Pero el Comité de expertos del CSIC, al que encargué en su día un informe sobre los efectos de esta

obra sobre Doñana, fue rotundo en sus conclusiones, y así se ha plasmado en la citada sentencia del Tribunal Supremo.

Este es solo uno de los muchos ejemplos de aparente contradicción entre valor económico y valor ambiental de un humedal.

La Fundación Nueva Cultura del Agua ha realizado importantes contribuciones a este debate, incluyendo las correspondientes al derogado proyecto sobre el Trasvase del Ebro, cuya grave afección previsible sobre el Delta del Ebro fue una de las principales razones de la negativa de la Unión Europea ante la solicitud de financiación presentada por el gobierno Aznar. También aquí era evidente, como en el caso del Dragado del Guadalquivir, que existían intereses económicos tanto a favor (obra civil, fundamentalmente) como en contra (arroceros, pescadores...); y que los primeros gozaban de mayor capacidad para influir en las decisiones políticas y en la opción pública.

Lo anterior apoya mi última reflexión, aprovechando la ocasión que me brinda este prólogo. La protección de los humedales, como la de la biodiversidad en su conjunto, solo será efectiva si la opinión pública, la ciudadanía en general, accede a suficiente información sobre su verdadero valor (ambiental, sí, pero también económico, social y cultural). Animo por tanto a la Universidad de Alcalá, así como a la Universidad Autónoma de Baja California, a proseguir en su importantísima tarea de investigación y de divulgación sobre nuestro patrimonio natural, para contribuir a una creciente e imprescindible exigencia ciudadana en esta materia.

Cristina Narbona Ruiz
Ministra de Medio Ambiente 2004-08
Consejera del Consejo Seguridad Nuclear

Introducción

“El río lo sabe todo y todo lo puedes aprender de él”
Herman Hesse

De acuerdo con cifras de las Naciones Unidas (2005), más de mil millones de personas dependen directamente de los humedales para su subsistencia. Más allá de esta cifra, la verdad es que cada uno de nosotros en este planeta requerimos de los humedales para sobrevivir.

Los humedales, estos sistemas de transición entre la tierra y el agua, y que incluyen “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar 2006), proveen una infinidad de servicios ambientales para toda la vida en la tierra: generan el agua para los distintos usos, recargan el acuífero, limpian el agua de contaminantes, protegen la zona costera contra grandes tormentas, sirven de sitios de reproducción y crianza para una gran variedad de especies, y son refugios para la biodiversidad.

Sin embargo, en los últimos 100 años hemos degradado drásticamente estos ecosistemas, a tal grado que se estima que hemos destruido hasta 71% de todos los humedales en el mundo (Davidson, 2014). En algunos lugares la situación es más crítica, como por ejemplo en la costa del sur de California, donde se han perdido cerca del 95% de los humedales (Zedler, 1988). Más cerca de casa, el sistema del delta del Río Colorado en México, que llegó a tener una extensión de cerca de 450.000 hectáreas (Sykes, 1937) ha sido reducido a solo 10% de su tamaño original, en gran medida por la construcción de presas en la cuenca y la derivación de agua para uso agrícola, urbano e industrial tanto en México como en Estados Unidos (Zamora-Arroyo *et al.*, 2005).

Durante el 2015 hemos visto como los impactos continúan, especialmente por daños causados por contaminación: miles de kilómetros de ríos y miles de hectáreas de humedales han sido dañadas por derrames mineros en todo el mundo (bastan de ejemplo el Río Ánimas en Estados Unidos, el Río Sonora en México, el Río Potrerillos en Argentina y el Río Doce en Brasil), con afectaciones graves a la biodiversidad, así como a la salud y la economía de miles de personas en esas regiones.

Afortunadamente esta tendencia se ha ido revirtiendo en las últimas décadas, con legislación en casi en todo el mundo y acuerdos internacionales para su protección, en especial la Convención Ramsar para la Conservación de Humedales, que entró en vigor en 1975. Grandes sistemas de humedales han sido protegidos, como el corredor de los ríos Paraná-Paraguay en Argentina y el delta del Okovango en Botswana (UNDP 2015), y se han logrado casos ejemplares de restauración, como la Cuenca Murray-Darling en Australia (Connell, 2007). Esto ha sido posible gracias al esfuerzo conjunto de dependencias de gobierno, las instituciones académicas, las organizaciones ambientales, el sector productivo y las comunidades en cada localidad.

En este contexto, los capítulos integrados en este libro documentan con claridad científica la problemática que han enfrentado distintos humedales en México y en España, cubriendo aspectos de hidrología, historia natural, cambios históricos, gestión y manejo ambiental. Pero los autores logran ir más allá y presentan un panorama esperanzador con diversas propuestas y casos de éxito para la protección y recuperación de las funciones y valores de los humedales, tanto naturales como artificiales, con ejemplos en el uso para el ecoturismo y para el tratamiento de aguas residuales, así como herramientas jurídicas para su conservación.

El tema es sumamente oportuno, contemplando que el lema para la Celebración del Día Mundial de los Humedales para 2016 es "humedales para nuestro futuro", con el principio de que el desarrollo económico y social no se contrapone con la protección de la naturaleza (Secretaría de la Convención de Ramsar 2015).

Celebro el esfuerzo de este gran equipo de investigadores, quienes por medio de enfoques multidisciplinarios han logrado crear un documento que sin duda servirá de inspiración y soporte técnico para multiplicar el estudio, conservación y restauración de los humedales en México, España y más allá.

Osvel Hinojosa Huerta
*Director del Programa de Agua y Humedales
Pronatura Noroeste*

REFERENCIAS CONSULTADAS

- DAVIDSON, N.C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research* 65(10), 934-941.
- CONNELL, D. (2007). *Water Politics in the Murray-Darling Basin*. The Federation Press, Annandale, Australia.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2006. *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971), 4.ª edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2015. *Día Mundial de los Humedales 2016*. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). <http://www.worldwetlandsday.org/es/>
- SYKES, G. (1937). *The Colorado Delta*. Publication 19. American Geographical Society. Washington, D.C.

- UNDP. 2015. *Success Stories from the World's Wetlands*. United Nations Development Programme Stories on Wetlands, May 28. <http://www.undp.org/>
- United Nations Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- ZAMORA-ARROYO, F., J. PITT, S. CORNELIUS, E. GLENN, O. HINOJOSA-HUERTA, M. MORENO, J. GARCIA, P. NAGLER, M. DE LA GARZA, y I. PARRA. (2005). *Conservation Priorities in the Colorado River delta Mexico and the United States*. Reporte preparado por Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste, CIAD y WWF.
- ZEDLER, J. (1988). Salt marsh restoration: lessons from California, en J. Cairns (ed.). *Rehabilitating damaged ecosystems*, Volume 1. CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 123-138

Humedales naturales: Estudios de caso

Patrimonio natural en la región de Murcia (España): protección y efectos turísticos. El ejemplo de la laguna salina costera del Mar Menor

Aurelio Cebrián Abellán¹, Ramón García Marín²
Universidad de Murcia

Resumen: Se analiza en este estudio la heterogeneidad del medio natural en la Región de Murcia (España), los hábitats más representativos, incidiendo en la variedad y distribución de humedales. Se examina la repercusión de la declaración de espacios naturales protegidos en la ordenación del territorio, con especial atención a las distintas figuras de protección que convergen en el ámbito de la laguna salina costera del Mar Menor. Este análisis mantiene el orden siguiente: origen; relación con diversos elementos del territorio; aportaciones de su gestión a la ordenación del territorio y a las políticas sectoriales correspondientes al medio ambiente y desarrollo turístico; y las perspectivas que abre el cambio de legislación introducido recientemente por la *Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad* (nacional) y la *Ley 4/2009, de Protección Ambiental Integrada* (Región de Murcia).

Los resultados de este análisis ponen de manifiesto que la lógica de la función de los espacios naturales protegidos en la Región de Murcia responde a una escala de comunidad autónoma en cuanto a objetivos de planificación sectorial enfocada a la conservación de los factores bióticos y abióticos y al suministro de bienes ambientales, y a una escala municipal respecto a la planificación urbana y turística. Las características específicas y problemas que afectan al Mar Menor deberían conducir a un intento de Gestión Integrada de esta valiosa zona litoral.

Palabras clave: laguna costera Mar Menor; Región de Murcia; España; protección ambiental; repercusiones turísticas.

¹ Profesor Titular de Análisis Geográfico Regional, Departamento de Geografía, Universidad de Murcia (Campus de La Merced). E-mail: aurelio@um.es

² Profesor Contratado Doctor, Departamento de Geografía, Universidad de Murcia (Campus de La Merced). E-mail: ramongm@um.es

Abstract: The heterogeneity of the natural environment in the Region of Murcia (Spain) is discussed in this study, the most representative habitats, with particular attention to the variety and distribution of wetlands. This review also examines the impact of the declaration of protected natural areas in the land-use planning, with special attention to the different figures of protection that converge in the area of the Mar Menor coastal saline lagoon. This analysis has the following order: origin; relationship with various elements of the territory; contributions of its management to the land-use planning and sectorial policies relating to the environment and tourism development; and prospects which opens the change in legislation recently introduced by law 42/2007, of Natural Heritage and Biodiversity (national law) and law 4/2009, of Integrated Environmental Protection (Murcia Region).

The results of this analysis show that the logic of the function of natural areas protected in the Region of Murcia responds to a scale of autonomous community with regard to objectives of sectoral planning focused on the conservation of biotic and abiotic factors and to the provision of environmental goods; and to a municipal scale with respect to urban and tourism planning. The specific characteristics and problems that affect the Mar Menor lagoon should lead to the attempt to perform an Integrated Management of this valuable coastal zone.

Keywords: Mar Menor coastal lagoon; Region of Murcia; Spain; environmental protection; tourism impact.

INTRODUCCIÓN

El turismo de naturaleza integra dos elementos: patrimonio natural, que incluye a fauna y hábitat, con sus características geológicas y paisajes, y que permite desde la práctica deportiva hasta el conocimiento del medio; y turista, definido por motivaciones (bienestar físico, estímulo intelectual, disfrute de la naturaleza, contacto con gentes y culturas en escenarios personalizados, búsqueda de emociones, entre otras) [Dirección General de Empresa, 2002].

La OMT (Organización Mundial del Turismo) define a este tipo de turismo como aquel viaje turístico para estudiar la naturaleza, con el medio convertido en motivación, o para realizar actividades físicas al aire libre. Implica el sostenimiento de la naturaleza [Lacambra, 1997] y puede incluir limitaciones³ para prevenir impactos. Así, el patrimonio natural es defendido mediante una gestión integrada, con buen reflejo en los *Planes de Excelencia Turística*⁴, *Planes Integrales de Calidad del Turismo*⁵ y *Planes Estratégicos*⁶. Dicha gestión integrada es la resultante de la actuación de las administraciones, que aplican instrumentos de la *Carta Europea de Turismo Sostenible* y *Sistema de Calidad de Espacios Naturales Protegidos*.

³ Como las capacidades de carga al paisaje o bien a sus factores intangibles.

⁴ Han promovido la calidad y el efecto demostración.

⁵ Enfocados a nuevas ofertas y a la renovación de la existente, y aplicaciones a pequeña escala (ecotasas, certificados ambientales, etc.).

⁶ Orientados a la gestión del destino turístico, especialmente los dirigidos a un sector, y que han priorizado al entorno.

Este tipo de turismo crece en Europa por el incremento de motivaciones y oferta, con más de 40.000 áreas protegidas y 600.000 km² de la *Red Natura*⁷. Se trata de un modelo turístico relacionado con los condicionantes espaciales, paisajístico-perceptuales y ambientales (Cebrián *et al.*, 2001), con el uso de recursos naturales y variantes de naturaleza, en la naturaleza, de vida silvestre, ecoturismo, activo... Está construido en torno a valores cualitativos, además de ser especializado, y con tendencias que lo han favorecido: aumento de practicantes de actividades deportivas y recreativas en medios de calidad ambiental y adecuación en la oferta de infraestructuras de acogida y actividades complementarias; y específicamente en España con el conocimiento de la naturaleza, actividades en ella (Araujo, *et al.*, 2011) y conexiones con otros productos temáticos, variedad de espacios y formas de uso, etc. (Secretaría General de Turismo, 2004). El *Plan de Impulso del Turismo de Naturaleza* constata esa tendencia, sustentada en nuevos gustos y en el papel de los espacios naturales protegidos como atracción turística, algunos Patrimonio de la Humanidad y veintisiete lugares Reserva Mundial de la Biosfera, que albergan un patrimonio biológico excepcional: cerca de 80.000 taxones, tres cuartas partes de las aves y mamíferos europeos, unos 50.000 invertebrados y 60.000 especies⁸, aunque crece el número de las amenazadas⁹ (Mulero, 1999). Y como resultado, en 2003 el volumen de desplazamientos a espacios naturales protegidos había superado los treinta millones de visitas, de turistas de descanso y esparcimiento en la naturaleza, ecoturistas básicos y científicos, de territorio y naturaleza, ocasionales de naturaleza, mixtos experimentales de deporte y naturaleza y deportivos. Y en 2012 dicho volumen no solo se había consolidado sino aumentado, hasta alcanzar 49,5 millones de visitas, como indica la memoria de EUROPARC-España. Pero el turismo de naturaleza, en líneas generales, continúa sostenido por visitantes jóvenes (entre 30 y 39 años, seguido del grupo de 20 a 29), con nivel socioeconómico medio-alto, formación media o superior, con gasto medio por persona/día de 30-45 euros (ahora rebajado por los efectos de la crisis económica, desde 2008), y viaje por cuenta propia en más del 90%. La oferta de turismo activo representa un 70% del total, y la de ecoturismo el 30% restante. Además, los usuarios presentan alto grado de repetición (58%), con motivaciones en descanso y diversión (38%), deporte (32%), conocimiento de la naturaleza (28%), actividades de fotografía (68%), rutas por carretera (60%), y observación detallada de fauna o flora (58,7%) (Ministerio de Industria Turismo y Comercio, 2004). Es decir, varía la cantidad pero se mantienen las pautas.

A principios de la presente centuria en la Comunidad de Murcia ya era el tercer producto turístico (tras sol y playa y cultural), aprovechando el 6% de la superficie protegida regional, con 170.000 visitantes, y anualmente distribuidos de forma homogénea.

⁷ La Red Natura 2000 es la mayor red coordinada de áreas protegidas del mundo, y el principal instrumento de conservación de la biodiversidad de la Unión Europea. Nació con la Directiva Hábitats 92/43/CEE, sobre la conservación de los hábitats naturales de fauna y flora silvestre. Y en 1998 se llevó a cabo la selección final de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), que más tarde formaron parte de la Red Natura 2000 con el nombre de Zonas de Especial Conservación (ZEC). En España hay de 118 tipos de hábitat y 263 especies, además de 125 especies de aves protegidas. La Red Natura 2000 española (2014) está integrada por: 1.448 LIC y 598 ZEPA, y comprende un 27% del territorio, 137.000 km² de superficie terrestre y 10.000 km² de marina.

⁸ 118 de mamíferos, 368 de aves, 56 de reptiles, 68 de peces de agua dulce, etc.

⁹ 1.263, con una sexta parte en peligro de extinción.

Estaba sostenido por turistas nacionales (Madrid, Comunidad Valenciana y Cataluña), pues los extranjeros solo alcanzaban el 14%, con estancia media de tres días y crecimiento anual del 10% (Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio, 2002). En 2011 aún permanecía esa estructura, si bien sobre el total de turistas recibido por la región (1.081.129) los de naturaleza ascendían ya a 363.681, el 33,6%, con una progresión de más del doble en una década (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2011). Y continuaba presentado rasgos similares a los nacionales, con usuarios repetitivos de actividades mayoritarias de fotografía, rutas por carretera y observación de fauna o flora. A ello ha contribuido la prolijidad y diversidad de humedales, una parte en áreas protegidas. Distinto es el caso del Mar Menor, con turismo masivo de sol y playa más el de naturaleza, y diferentes figuras de protección, pero cada vez más transformado por una urbanización compulsiva.

HETEROGENEIDAD DEL MEDIO EN LA COMUNIDAD DE MURCIA

La diversidad como exponente

La región de Murcia engloba a un territorio de transición entre el interior peninsular, Mediterráneo y Andalucía, con varios ámbitos (Figura 1).

En el noreste hay altiplanos y depresiones; en la cuenca de Abanilla-Fortuna modelados de ambientes semiáridos y ramblas de escaso caudal¹⁰ (Belmonte *et al.*, 2007 b); en la Cuenca de Mula están los ríos Mula y Pliego y la Rambla Salada, con escasas formaciones vegetales primarias; en el Bajo Guadalentín el río, con numerosos afluentes¹¹, pero que, bajo determinadas condiciones pluviométricas, evacua altos volúmenes de agua y sedimentos por violentas crecidas y avenidas de cabecera¹² (González, 2007 a), y en tramos hay criptohumedales salinos o saladares con vegetación halófila (Navarro *et al.*, 2007); al oeste, los sistemas montañosos Prebético y Subbético, acogiendo cursos que dividen a las alineaciones principales (el río Argos, nacido de ramblas¹³, padece fluctuaciones interanuales; el Moratalla o Benamor sufre la mayor oscilación; y el Quípar, con aguas altas a principios de invierno y primavera) (Cebrián, 2007); en Mazarrón las sierras costeras disfrutaron de riqueza minera, cuyas derivaciones colmataron un almarjal salino; el Campo de Cartagena termina en el Mar Menor, una albufera con modelo turístico singular (González, 2007b); y en la comarca de Murcia confluyen el valle del Segura y la depresión prelitoral del Guadalentín, cursos muy irregulares (Serrano *et al.*, 2007a).

¹⁰ Las aguas son permanentes en un tercio del recorrido del río Chícamo, con algunas ramblas tributarias por sus márgenes izquierda (Cutillas, Zurca, Balonga, Parra y Font) y derecha (Agudo); otras lo son del Pantano de Santomera (Cantalar, Salada y Ajauque), ahora con aguas salinas; y, unas últimas, son producto de afloramientos de aguas subterráneas, que generan humedales singulares, como Derramadores y Ajauque.

¹¹ Por la margen izquierda (ramblas de Lebor, La Santa, Campix, Celada, Molinos, Algeciras, Orón y Belén) y por la derecha (barrancos de Roy, Ginesa, Murta, Incholete y Peñas Blancas).

¹² Ramblas de Los Arejos, El Cañarete, El Charcón, Los Pinares y Ramonete.

¹³ La Higuera, Buitreras, Parriel y Calderones.

Fig. 1: Estructura física de Murcia (España)



Fuente: <http://miplumiercono.files.wordpress.com/2011/07/mapa-murciaa18.gif>

Las variantes climáticas van desde la mediterránea árida al sur, a la semiárida del suroeste al altiplano nororiental, y subhúmeda en montañas del noroeste. La posición geográfica explica la irregularidad¹⁴ y escasez de lluvias, que no impide la variedad de humedales, pero que forzó a la construcción de embalses y azudes reguladores de la cuenca del río Segura, y de otros que represan aguas trasvasadas¹⁵ para regadíos y abastecimientos, que han irradiado formaciones de ribera. En la margen derecha del Segura predominan ríos y arroyos de caudales continuos¹⁶; y en la izquierda efímeros, con tramos de caudal continuo o temporal¹⁷. Entre los más relevantes está el Guadalentín (3.301 km² de cuenca). Son cursos con unos coeficientes de escorrentía

¹⁴ Con aguas altas ligadas a las precipitaciones equinociales, y con estiaje muy acusado.

¹⁵ Entre 49 y 581 hm³/año, con una media de 130.

¹⁶ Alhárabe, Argos, Quípar y Mula.

¹⁷ Como el río Chícamo o la Rambla Salada.

entre los más bajos de la península¹⁸, que han necesitado transferencias y regulaciones, reflejadas en 31 embalses en la cuenca del Segura, la más regulada de Europa, con capacidad de 1.256 hm³, distribuidos como sigue: regulación de cuenca 1.016, de regadíos 78, abastecimiento 9,3, aprovechamiento hidroeléctrico 6,6, y laminación de avenidas 141,1 (Belmonte, 2007 a). El sistema de ramblas¹⁹ es estacional y torrencial, con un conjunto de veinte²⁰. En algunos casos el sustrato impermeable y cargado de sales aporta las abundantes ramblas saladas. En áreas calizas fuentes y manantiales incorporan pozas. Las de caudal superior a 50 l/s están en el noroeste²¹, en Lorca los Ojos de Luchena (511 l/s), y en Abanilla el nacimiento del río Chícamo (55). Los manantiales de El Gorgotón (500) y Cañada Verosa (55) emergen al Segura (Rodríguez, 2007). Y algunos aportan paisajes originales: Fuentes del Marqués, que lo hace en varias bocas; Cantalar, con aguas comercializadas; baños y balnearios; etc.

Los paisajes están adaptados a la sequedad²², con masas forestales de repoblación, matorrales exclusivos del sureste, y hábitats raros: en sierras litorales azufaiños y sabina mora, irradiados por ríos, playas, marismas salinas, turberas y manantiales; y en el interior prados calcáreos, estepas salinas y bosques y matorrales ribereños (Cebrián, 2008). Aportan 2.000 especies florísticas, casi la tercera parte del total peninsular. Las comunidades vegetales sobrepasan las trescientas, con tres cuartas partes en la *Directiva Hábitat*. Y las de humedal son abundantes: lagunas costeras (3 comunidades), vegetación pionera con salicornia y especies de zonas fangosas y arenosas (3), pastizales salinos mediterráneos (6), estepas salinas mediterráneas (7), aguas oligomesotróficas calcáreas con vegetación béntica (2), lagos eutróficos naturales con vegetación (3), estanques temporales mediterráneos (2), ríos de caudal permanente con cortinas ribereñas (3), ríos de caudal intermitente (1), manantiales petrificantes con tuf²³ (1), bosques galería (6), galerías y matorrales ribereños termomediterráneos (11), turberas calcáreas (5), con una de especial importancia), etc. Los tipos de ambientes y número de comunidades indican la distribución en sectores hidromórficos: vegetación de aguas dulces (11 comunidades), marina y de aguas salinas (7), lacustre, fontinal y de turberas (12), y de bordes de ríos (16) (Alcaraz, 2007).

La fauna es rica, con más de cuatrocientas especies, y dominio de aves con tres cuartas partes. Los humedales litorales son ecosistemas definidos, y en cursos altos del Segura la calidad ambiental permite comunidades faunísticas complejas (Calvo, 2007). En ecosistemas marinos hay variedad de aves, y en fluviales de invertebrados. En cuerpos de agua continental están colonias reproductoras, y en ramblas reptiles.

¹⁸ En total aportan unos 65 hm³, mientras que el Guadalentín apenas llega a los 39.

¹⁹ Conformado por barrancos, ramblizos y cárcavas.

²⁰ Agua Amarga, Judío, Moro, Benito, Carrizalejo, Cantalar, Ajauque, Salada, Algeciras, Parra, Ceacejo, Peerea, Malvariche, Garruchal, Estrecho, Béjar, Inazares, Burete, Nogalte, En medio y Torrecilla.

²¹ Fuentes del Marqués (430 l/s), Mayrena (92), Ojos de Archivel (59), Archivel (87), Tosquilla (120), Loma Ancha (99), Heredamiento de la Vega (221), Fuentes de Mula (239), más la Acequia del Campillo (30-200), Azud de Caravaca (40-100), Nacimiento del Partidor (30-200) y Cimbra de la Vega (18-180).

²² Arbustos espinosos y aromáticos, formaciones de palmito, tomillo y tamarisco, etc.

²³ Este tipo de hábitat comprende fuentes, manantiales y roquedos rezumantes, donde el afloramiento de aguas carbonatadas da lugar a precipitados de calcio (tobas, travertinos, tufos, etc.), con el resultado de sustratos calcáreos carentes de nutrientes, y la vegetación se caracteriza por un tapiz de musgos bajo el que se desarrolla el tufo calcáreo.

Pero hay especies amenazadas: mujol, langostino, pardote, entre otras (Mar Menor), gallipato (Altiplano), piro (Noroeste y Sierra Espuña), tortuga mora (costa y sierras de Puerto Lumbreras), cabra montés, linco, gato montés y águila real (sierras del noroeste), nutria (cursos del noroeste), y águilas perdicera y calzada, por señalar solamente algunas.

Hábitats representativos

La extensión de interés comunitario cubre 327.000 hectáreas (ha), casi la tercera parte del territorio. Incluye 46 tipos de hábitats²⁴, la mitad de interés comunitario y el resto prioritarios de la *Región Biogeográfica Mediterránea* española. Según criterio de rareza²⁵ hay tres tipos: muy raros, 19 (el 45%), en sierras costero-litorales, cursos de agua, dunas y arenales marítimos, playas, acantilados, marismas salinas, comunidades megafórbicas²⁶ de linderos, turberas y manantiales petrificantes; raros, 13 (el 31%), en montaña y cuencas con pastizales salinos, matorrales halófilos y halonitrófilos²⁷ y estepas salinas; y no raros, 10 (el 24%) (Dirección General del Medio Natural, 2003 a). Los LIC (Lugares de Importancia Comunitaria) son 50, con tres en medio marino, que abarcan 181.257 ha (el 16% de la superficie regional), algunos en formaciones de saladar y con especies protegidas²⁸. Y las ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves) son 22, sobre 205.175 ha (el 18% de la superficie regional), con aves muy representativas²⁹. Son profusos los lugares de interés paisajístico³⁰ y alto valor ambiental, con los Espacios Naturales Protegidos³¹. Los Parques Regionales constituyen el principal exponente, cuatro en el interior: *Sierra Espuña*, con más de 24.000 ha³², un macizo con formas cársticas en cumbres³³, floresta densa y amplio inventario de flora vascular (915 especies), vertebrados (185), y ortópteros endémicos (Cebrián, 2007); *Carrascoy y El Valle*, de alta diversidad paisajística y enclaves de carrascal; *Sierra de la Pila* (7.858 ha), de alto interés tectónico y paleontológico, más riqueza florística, gato montés y rapaces; y *Sierra del Carche*, de complejidad tectónica y riqueza florística. En la costa y sus márgenes están los tres restantes: *Salinas y Arenales de San Pedro*, con explotación de sal, y proliza avifauna acuática; *Calblanque-Monte de las Cenizas y Peña del Águila*, con dunas y charcas salineras; y *Cabo Cope-Puntas de Calnegre*, con sabinares y cornicales. El Paisaje Protegido de *Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor* reproduce la génesis de la laguna, y las islas y cabezos acogen estepas salinas y palmitar endémico. El de *Islas e islotes del litoral Mediterráneo* contiene lentiscas y palmitares. El de *Cuatro Calas (Águilas)* saladares. El *Cabezo Gordo* (Campo de Car-

²⁴ 13 prioritarios, los amenazados de desaparición.

²⁵ Basado en la superficie relativa de cada tipo de hábitat en la Región Biogeográfica Mediterránea española.

²⁶ Herbáceas que adquieren un gran desarrollo.

²⁷ Tomillares que contactan con espartales y albardinares, de baja cobertura, distribuidas por el termostipo termo y mesomediterráneo bajo ombrotipo seco y semiárido, y asentados sobre materiales yesíferos. Esta asociación está muy empobrecida en elementos debido a la fuerte acción ganadera.

²⁸ Fartet, nutria, tortuga mora y varias especies de murciélagos.

²⁹ Águilas azor y perdicera, camachuelo trompetero, avutarda, cigüeñuela, gaviota de Audouin o búho real.

³⁰ *Salto de la Novia* (Ojós), *los Barrancos de Gebas y Paredes de Leyva* (Alhama de Murcia), etc.

³¹ Siete Parques Regionales, ocho Paisajes Protegidos, una Reserva Natural y tres Espacios Naturales.

³² Repartidas entre el Parque Natural (9.961) y la Reserva Nacional de Caza (14.181).

³³ Uvalas, dolinas, campos de lapiaces, valles cársticos, y simas y cavidades.

tagena] afloramientos de mármol. *Sierra de las Moreras* resalta por sus acantilados y calas. Y abundan los saladares de interior: el *Humedal de Ajauque y Rambla Salada* acoge carrizales y animales esteparios; los *Saladares del Guadalentín* a aves acuáticas y esteparias; y los *Barrancos de Gebas* la rareza de las estepas blancas. El *Cañón de los Almadenes* alberga vegetación de ribera. Y la *Sierra de Salinas* a carrascales, quejigos y numerosas rapaces.

PROTECCIÓN DEL MEDIO COMO RECURSO TURÍSTICO

Escalas general y nacional

La ordenación turística del medio natural español está basada en convenios, programas, proyectos, planes turísticos, apoyo a consorcios, participación en proyectos comunitarios, etc. A la mejora de resultados han contribuido programas que contemplan la rentabilidad del medio para el consumo turístico (Cebrián *et al.*, 2001), a través de incentivos directos, fiscales y financieros indirectos. La ordenación está basada en variados instrumentos, como: *Planes de Ordenación de los Recursos Naturales*, *Planes Rectores de Uso y Gestión* o *Planes de Protección del Medio Físico* (Pérez, 2001); y en medidas, como la capacidad de carga. Hay una triple incidencia: comunitaria –muy notable–, de las Comunidades Autónomas –con ciertas competencias en promoción y ordenación–, y de los municipios –con influencia en el turismo desde los Patronatos Municipales de Turismo– (Cebrián, 2004). No obstante, la clave de ordenación de los humedales está en adhesiones a compromisos internacionales para protección de la naturaleza, y especialmente en tres: *Convenio de Ramsar* (1971) sobre humedales y hábitat acuáticos, que establece estrategias, planes nacionales, programas y políticas sectoriales, y considera prioritarios a los ecosistemas costeros y de aguas interiores; *Convenio de Berna* (1979) con espacios protegidos en las redes europeas *Esmeralda* y *Euroespecies*; y *Declaración de Venecia* (1996), para la región mediterránea, que interviene desde Planes Nacionales basados en la estrategia sobre humedales Mediterráneos, una adaptación regional del *Plan Estratégico de Ramsar*, y de *MedWetCom*, con iniciativas de conservación y uso racional.

La normativa europea sobre humedales se inició en 1992 con la *Red Natura 2000*, que agrupó a las *Directivas de Aves* (79/409 CEE) y *Hábitats* (92/43CEE), con las zonas de importancia comunitaria (ZEPAs) como hábitats de ecosistemas acuáticos: costeros y vegetaciones halofíticas³⁴, de agua dulce³⁵, formaciones herbáceas naturales y seminaturales³⁶, turberas, hábitats rocosos y cuevas, y bosques³⁷. En 1995, la Comisión Europea puso en marcha la Comunicación sobre *Uso prudente y conservación de los humedales*, la *Estrategia Pan-Europea para la Diversidad Biológica y Paisajística*. En 1998 la *Estrategia de Biodiversidad de la Comunidad Europea*. Y en 2000 la *Directiva 60/CE*, que afectaba a la *Red Natura 2000*. En el ámbito mediterráneo tienen relevancia el *Convenio de Barcelona* y el PAM (*Plan de Acción para el Mediterráneo*), la *Resolución de Barcelona para el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible en la Cuenca Mediterránea*, y

³⁴ Aguas marinas y región intermareal, acantilados, marismas y pastizales salinos y estepas continentales.

³⁵ Sistemas fluviales y humedales.

³⁶ Secas seminaturales, dehesas, prados húmedos seminaturales de hierbas altas y prados mesófilos.

³⁷ Atlántico, mediterráneo, alpino y subalpino, y macaronésico.

la iniciativa *MedWetCom*, base de la *Conferencia sobre los Humedales Mediterráneos*, de la que salieron la *Declaración de Venecia* y la *Estrategia sobre Humedales Mediterráneos*.

A escala estatal la Constitución Española (art. 45) encomienda a los poderes públicos velar por “la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida y defender y restaurar el medio ambiente apoyándose en la necesaria solidaridad colectiva”. De ahí emana una legislación en la que resaltan tres leyes: 29/1985 de Aguas, 22/1988 de Costas, y 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres. También los instrumentos de planificación, con el *Plan Nacional de Regadíos* y los hidrológicos de cuenca (para Murcia el *Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura*). Además, tres estrategias: *Forestal Nacional*, *Nacional para la Educación Ambiental* y *Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica*³⁸. Asimismo, las estructuras para conservación de humedales: *Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza*, *Comité de Humedales* y *Plan Estratégico Español para la Conservación y Uso Racional de los Humedales* (VV.AA., 1999). Y hasta el *Plan de Turismo Sostenible Español*, que impone la sostenibilidad ambiental para garantizar resultados turísticos, y la gestión de recursos desde la capacidad de carga. Sigue orientaciones del *V Programa de Acción Comunitario*, desde la planificación turística con programas específicos (Secretariado de la Red de Autoridades Ambientales, 2001). En la actualidad el marco legal básico nacional para la protección de espacios naturales lo constituye la *Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad*, que sustituye a la *Ley 4/1989*, e integra a normativas europeas y de convenios internacionales. Se mantiene como instrumento básico de gestión a los PORN (Planes de Ordenación de los Recursos Naturales) y los ENP (Espacios Naturales Protegidos). Y se incorporan las AMP (Áreas Marinas Protegidas), que para el GEET (Grupo Especial de Expertos Técnicos) son la:

“zona definida dentro del medio marino o contigua al mismo, junto con las aguas que la cubren y la flora, fauna y rasgos históricos y culturales asociados, que ha sido reservada por acto legislativo o por otros medios efectivos, incluso la costumbre, para que su diversidad biológica marina y/o costera goce de un nivel de protección superior al de su entorno. Las áreas dentro del medio marino incluyen aguas de mar poco profundas permanentes, bahías, estrechos, lagunas; estuarios; lechos acuáticos submarelaes, arrecifes de coral, limos intermareales, marismas y pantanos de arena o de sal; cabezos submarinos, corales de aguas profundas, fuentes de aguas profundas y hábitats oceánicos” (Barreira et al., 2009).

También se añaden los espacios *Red Natura 2000* y áreas protegidas por convenios internacionales, derivados de la aplicación de la *Directiva 92/43/CEE del Consejo* relativa a conservación de los hábitats naturales y de fauna y flora silvestres, y constituida por LIC (Lugares de Importancia Comunitaria), ZEC (Zonas Especiales de Conservación)³⁹ y ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves) (*Directiva 2009/147/CE*), para los cuales las Comunidades Autónomas fijarán las medidas de conservación que

³⁸ La respuesta a las obligaciones aceptadas del *Convenio sobre Diversidad Biológica*.

³⁹ De conformidad con la *Directiva Hábitats*, la Comisión Europea adoptó las *Decisiones 2006/613/CEE* y *2010/45/UE*, por las que se adopta, respectivamente, una lista inicial de LIC de la región biogeográfica mediterránea y su última actualización.

respondan a las exigencias ecológicas de los tipos de hábitats naturales y especies presentes en las mismas (Europarc, 2010).

Sin embargo, no se ha podido afrontar integralmente la problemática de los humedales, pues de las 280.000 ha originales se ha perdido un 60%. En los sistemas de montaña un 14% están degradados, y en los cársticos 900 ha. En el interior, de las 14.800 ha originales restan 4.800; y en el litoral, de 6.700 ha quedan 5.200, con un 60% muy alteradas. Y mientras la tercera parte de las aguas fluviales está catalogada con calidad inadmisibles, en la región semiárida asciende a un 60%. En la cuenca del Segura los retornos de aguas de regadío y vertidos explican el deterioro (Instituto para la Modernización de España, 1998). Y el panorama no es peor gracias a la *Ley de Protección de Zonas Húmedas* (1990), que sujetó las aguas a protección especial (*Reglamento del Dominio Público Hidráulico*).

Nivel autonómico: la Comunidad de Murcia

El resultado legislativo ha sido escaso en el litoral mediterráneo, donde han desaparecido los espacios palustres de la desembocadura del Segura, y se han extendido explotaciones en lagunas saladas. Y la situación es caótica en el Mar Menor, con aguda concentración turística. Es la derivación de una política de ordenación deficiente por indefinición del espacio litoral, pues la *Ley de Costas* (1969) actuó sobre bienes de dominio público, orientación prolongada con las leyes de 1980 y 1989. Y también de la insuficiencia de planeamientos municipales. Así, el modelo turístico ha generado crecimiento urbano anárquico, destrucción de áreas con valor ambiental, etc. (Cebrián, 2004).

Con todo, la actuación está sustentada en una línea interinstitucional abierta a consorcios que ha permitido cohesiones con la política de ordenación turística estatal. Esa razón explica el gran número de convenios, programas y proyectos comunitarios en la región (Cebrián, 2006). Además, la contemplación del medio como fuente de valor para el turismo de naturaleza ha estado en la Ley 4/92 de 30 de julio, de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia, aplicada mediante PORN (Plan de Ordenación de Recursos Naturales) y la declaración de ENP (Espacios Naturales Protegidos). Pero es una adaptación a la legislación nacional, que reclasificó 11 ENP (1 Reserva Natural, 6 Parques Regionales y 4 Paisajes Protegidos), junto a otros 8 espacios pendientes de clasificar. Actualmente, la Comunidad de Murcia cuenta con una Reserva Natural, ocho Parques Regionales, ocho Paisajes Protegidos y dos espacios protegidos sin clasificar. Y bajo esta última figura están los *Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor*, que reproducen ambientes y génesis de la laguna.

Actualmente, la protección del medio natural reside en la *Ley 4/2009, de 14 de mayo, de Protección Ambiental Integrada de la Región*, que actualiza mecanismos de control, más planes y proyectos con incidencia sobre el medio. También en el *Plan de Fomento del Turismo de la Región de Murcia*, coordinado con el *Plan Estratégico de Desarrollo del Turismo*, apoyado en la vertebración de actividades, y que señala la rentabilidad del turismo de naturaleza en el *Análisis del Impacto de los efectos socioeconómicos de las Actividades Subacuáticas sobre el Área de Influencia de la Reserva Marina de Cabo de Palos-Islas Hormigas*, donde en 2000, el buceo en la Reserva Marina generó 1,2 millones

de euros⁴⁰. Igualmente, el *Documento Base para las Directrices de Desarrollo Turístico Sostenible de la Región de Murcia* (2002) fija objetivos económicos, sociales y ambientales para el desarrollo turístico, y estrategias y líneas de actuación para los Planes Directores de Infraestructuras. Específicamente, la protección y conservación de humedales cuenta con varias figuras legales: *Ley 4/89 de Conservación de Espacios Naturales y de la Flora y la Fauna Silvestres*, *Ley 4/2009 de Protección Ambiental Integrada de la Región*, *Directiva 92/43/CEE de Conservación de los Hábitats Naturales y de la Fauna y Flora Silvestres*, *Directiva 409/79 de Conservación de Aves Silvestres*, *Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional* (Ramsar), y *Convenio de Barcelona* (Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo, con especial protección para humedales litorales, y el Mar Menor). Todo ello ha permitido la irradiación de espacios protegidos *Red Natura 2000*: 50 LICs y 22 ZEPAs.

VARIEDAD DE HUMEDALES

Decálogo de áreas húmedas

De los 98 catalogados 57 (58,16%) cuentan con algún régimen de protección. La figura frecuente es ASE (Área de Sensibilidad Ecológica); la tercera parte se incluye en LIC; más del 40% (41) son ZEPA; otro porcentaje similar son APFS (Áreas de Protección de Fauna Silvestre); y la cuarta parte está en espacios naturales protegidos⁴¹: parques regionales (9 humedales), paisajes protegidos (10) y reservas naturales (2). Por su importancia resaltan: el Mar Menor, las Salinas de San Pedro del Pinatar y el Humedal de Ajauque y Rambla Salada. En los interiores, los saladares del río Chica-mo, Derramadores y llanuras aluviales del Guadalentín.

Los humedales abarcan unas 18.500 ha, y el sector de Cartagena alberga la mayor representación de costeros (8)⁴², con el resto distribuido⁴³. Adquieren relevancia en sectores semiáridos, con la mayor superficie en el Mar Menor, seguida de criptohumedales (11%), arrozales (6%), salinas costeras (5%), bosques de ribera (2%), y marismas pseudomareales (1%) (Figura 2). El inventario incluye: lagunas costeras, con el Mar Menor (MM) en la lista de Humedales de Importancia Internacional por las concentraciones de aves acuáticas y hábitat conservados; marismas pseudomareales o encañizadas (ENC) en la comunicación entre Mar Menor y Mediterráneo a través de golgas, con alternancia de inundación-deseccación, colonización vegetal y alta biodiversidad acuática y densidad de aves; humedales de costa con salinas (S), con 3 explotaciones y 819 ha (Marchamalo -Cabo de Palos-, San Pedro del Pinatar y Calblanque); 9 salinas interiores (SA), (resaltan las de Zacatín, Saleros del Morrón, El Águila y La

⁴⁰ El 29% repercutió en los clubes de buceo, un 26% en hostelería, un 21% en restauración, un 1% en transporte y el 23% restante en otros conceptos.

⁴¹ Ocho en los Parques Regionales, trece en cinco Paisajes Protegidos, dos en una Reserva Natural, y dos en un espacio natural sin figura asignada.

⁴² El Mar Menor y márgenes, las Salinas del Rasall y Marchamalo, los Humedales de La Manga, los Saladares de Lo Poyo y Punta de Las Lomas y Marina del Carmolí.

⁴³ Jumilla y Cieza (7 respectivamente), Calasparra y Caravaca de la Cruz (6 respectivos), Alhama de Murcia y Mazarrón (5 respectivamente), Mula, Moratalla, Águilas y San Javier (4 respectivos), Lorca, Fortuna, Los Alcázares y Abanilla (3 respectivos), Yecla, Molina de Segura, San Pedro del Pinatar y Ojós (2 respectivamente), y uno en varios núcleos (Librilla, Pliego, Abarán, Bullas, Alcantarilla, Murcia, Blanca, Ulea y Totana).

Rosa), artesanales, con origen en ramblas, manantiales, aguas subterráneas o diapiros salinos; arrozales (ARR) en llanuras de inundación fluvial (1220 ha), con elevado valor para refugio de especies palustres; 19 criptohumedales (CR), (1806 ha), temporales y vegetación de saladares; 13 fuentes y manantiales (FM), y humedales asociados; dos bosques de ribera (BR), en terrazas fluviales, y vegetación de ribera; 35 charcas y pozas (C), la mayor parte artificiales⁴⁴; y 14 embalses (E), que incluyen vegetación palustre y aves. Adicionalmente están las balsas de riego (BA) y depuradoras por lagunaje (DL), con valor faunístico para aves (Área de Ecología, 1989; Esteve, *et al.*, 1995; Dirección General del Medio Natural, 2003 b).

En algunos humedales hay actividades tradicionales (agricultura, ganadería, pesca y extracción de sal), a las que se han incorporado la interpretación de la naturaleza, caza, recreo o terapéuticas. En salinas costeras se mantiene la extracción de sal, compaginada con usos medicinales y recreativos. En bosques de ribera se privilegia el ocio, en encañizadas la pesca y marisqueo, y en el Mar Menor actividades recreativas y terapéuticas más turismo masivo de sol y playa.

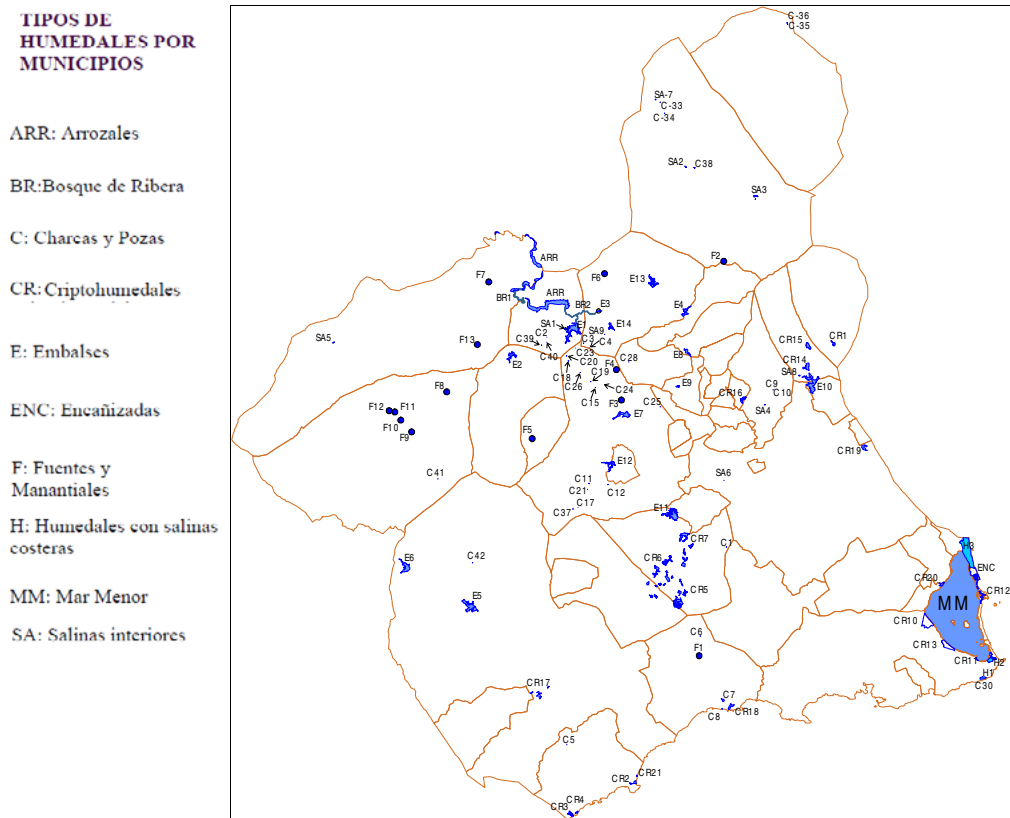
Los impactos frecuentes son: vertido de residuos sólidos (afecta al 42,85% de humedales), presión recreativa (23,46%) y abandono de usos tradicionales (21,42%). Con excepción de los humedales protegidos, la población los percibe como focos de molestias e insalubridad. Existe una baja valoración, potenciada por ausencia de vigilancia suficiente (Dirección General del Medio Natural, 2003 a). Y a pesar de ello pervive una notable riqueza biológica. La flora se adapta a la salinidad, en riberas dominan álamos y arbustos, y en muchos lugares juncos, carrizales y tarayales. En aguas limpias hay aneas, zarzas y rosales silvestres, helecho, culantrillo, y vegetación sumergida. Los invertebrados son numerosos, prolifica la fauna de aves, con 67 especies invernantes (33 nidificantes), y abundantes las no acuáticas en criptohumedales estaparios. Sobresale la diversidad de órdenes (podicipediformes, pelecaniformes, anseriformes, gruiformes, ciconiiformes y charadriiformes) y los ligados a humedales (falconiformes, pteroclidiformes, gruiformes, coraciformes, y passeriformes). Y cinco especies de anfibios, tres de reptiles (con galápago leproso), dieciséis de mamíferos (con la nutria)⁴⁵ y tres de peces (con el fartet)⁴⁶ (Robledano, 2003).

⁴⁴ Ganaderas, graveras, socavones y charcones, azarbes y azarbetas, albercas, surgencias mineras, fuentes, áreas encharcadizas y ramblas.

⁴⁵ Se encuentra hasta la localidad de Archena, en tramos fluviales y bosques de ribera en excelente estado de conservación tanto de la claridad de las aguas como del caudal ecológico.

⁴⁶ Un pez de unos 5 cm de longitud, característico de aguas salinas y de cuerpos de agua próximos al litoral, distribuido por las riberas del Mar Menor y humedales de su entorno, con una población en el río Chícamo.

Fig. 2: Tipología de humedales en la Región de Murcia



Fuente: Dirección General del Medio Natural, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN

Difusión de los interiores

La *Reserva Natural de Sotos y Bosques de Ribera de Cañaverosa* se extiende sobre 225 ha, a ambos lados del Segura, y conserva los sotos y formaciones ribereñas más extensos de la región, que acogen al galápago leproso. Entre las aves resaltan la garza real, martín pescador y garceta común. La especie emblemática es la nutria, relegada al curso alto.

El vecino *Espacio Natural Protegido Cañón de los Almadenes*, con 116 ha, repleto de surgencias, integra cinco tipos de hábitats de interés comunitario y comunidades de bosque de ribera y matorral de ladera, que albergan numerosas especies, como al caballito del diablo⁴⁷, y en aguas claras a nutria y galápago leproso.

El *Paisaje Protegido del Humedal de Ajauque y Rambla Salada*, entre sectores áridos, conforma un ejemplo de unidad paisajística integrada por un sistema de drenaje de

⁴⁷ Un pequeño insecto del grupo de las libélulas.

ramblas (Ajauque y Salada) asociado a salinas de interior y al embalse de Santomera. Con 1.632 ha, su peculiaridad reside en las aguas muy salinas, donde habitan aves asociadas al saladar y carrizal, más anátidas, fochas, etc. Es ZEPA por la colonia nidificante de cigüeñuela.

El *Paisaje Protegido de los Saladares del Guadalentín* (2.659 ha) ocupa la depresión central del valle del Guadalentín, con decenas de fragmentos de saladar, que arrancan de una matriz de siete ojos⁴⁸, de geometría circular y pocos metros de diámetro. El paisaje es estepario, pero con abundancia de especies vegetales (Pardo *et al.*, 2003) y aves. Acoge cinco tipos de hábitats comunitarios, y está catalogado como LIC y ZEPA. Entre las fuentes sobresale la de Caputa, de Interés Geológico. Sobresale la abundancia de charcas y pozas, con resalte de Los Chorrillos, en Sierra Espuña, con flora acuática sumergida, invertebrados acuáticos y coleópteros. De los múltiples embalses despunta el de Alfonso XIII, derivado del represamiento del río Quípar, en el complejo hidrológico Sistema Quípar-Cagitán, con los sistemas de drenaje de Los Llanos del Cagitán (Los Rameles), además de las salinas interiores de La Ramona. Las colas del embalse y Los Rameles acogen amplia vegetación de humedal y comunidades de aves acuáticas. Esa riqueza le ha convertido en LIC y ZEPA.

En otras superficies están los *Arrozales de Calasparra y Salmerón*, ecosistemas acuáticos con fase seca en invierno e inundación de abril-mayo a noviembre-diciembre. El *Coto Arrocero de Calasparra*⁴⁹, con unas 400 ha, se enmarca en terrazas fluviales de la vega alta del Segura, y ciertas comunidades vegetales de origen exótico. Los invertebrados acuáticos también incorporan algún elemento asiático⁵⁰, y variedad de anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Profusión, extensión y alto valor en los costeros

Muy específica es la lista de *Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar* (1994), con ocho en el *Humedal Mar Menor* (Figura 2) y además ZEPA por especies protegidas: garceta común, cigüeñuela y terrera marismeña. Forma parte de las *Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mar Mediterráneo*, como área de alto valor ecológico, la denominada *Área del Mar Menor y Zona Oriental Mediterránea de la Costa de la Región de Murcia*, que incluye al Mar Menor y al *Paisaje Protegido Islas y Espacios del Mar Menor*, y al sur la franja litoral, que, junto a los humedales periféricos, es LIC. Abarca 15.000 ha, e inserta al *Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro*, a una parte del *Parque Regional de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila*, y a otra del *Paisaje Protegido de Islas y Espacios Abiertos del Mar Menor*. Las áreas de mayor interés ecológico son los humedales de la periferia. Y por su extensión, las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar y los sistemas sedimentarios de Playa de la Hita, Marina del Carmolí, Lo Poyo y Marchamalo-Amoladeras, un modelo de playa, almarjal y estepa litoral. Son paisajes de interés la Playa de Hita (Espacio Protegido), con abundante vegetación; el Monte Carmolí (con palmito y aromáticas);

⁴⁸ Ojos de las Flotas, Judío, Churrete, Lobo, Esparza, Cuco y Fray Pérez.

⁴⁹ Concedido por Real Decreto de 1 de febrero de 1908.

⁵⁰ El molusco *Gyraulus chinensis*, introducido en la Península Ibérica a través de esta práctica agrícola, la responsable última de la traída y difusión de diversas plantas exóticas.

y las Islas del Mar Menor (Isla del Barón o Mayor, Perdiguera, del Ciervo, del Sujeto y Redonda), lugares de nidificación.

Las *Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar* se prolongan seis kilómetros por la costa, y, junto a las Encañizadas⁵¹, conforma un Parque Regional de 856 ha, con más de la mitad ocupadas por explotación salinera. Es una antigua laguna litoral sobre áreas llanas inundables, y plantas adaptadas al sistema de dunas. Resaltan la oruga de mar y cardo marítimo, y, fijando las dunas, barrón, cuernecillo y azucena de mar; en las más estables se implanta matorral mediterráneo. Los saladares, en áreas encharcadas, acogen a siempreviva, almarjo, juncos y carrizo. La fauna tiene especies en peligro de extinción, como el fartet, endémico del litoral levantino. De interés son el eslizón ibérico y lagartija colirroja. Pero dominan las aves acuáticas, con tipos de colonias nidificantes y migratorias. También el águila pescadora, martín pescador y terrera marismeña, en peligro de extinción.

El *Parque Regional de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila* ocupa 2.822 ha, en el extremo meridional del litoral, de gran diversidad ambiental y ecológica, con lagunas litorales y áreas subestépicas de gramíneas y anuales, palmitares, artales y cornicales, y enclaves de carrascales termófilos. Entre la fauna destacan el fartet, sapo corredor, y eslizón ibérico, y las aves de invernada (flamenco y tarro blanco) y reproducción (avoceta, cigüeñuela, charrán común y charrancito). Entre los espacios menores destaca la *Reserva Natural de Cabo de Palos-Islas Hormigas* (1.898 ha), un conjunto de cinco islas y los cabezos del interior. Fuera de las islas hay carrizales, saladares, estepas salinas, dunas y arenales, que incluyen a sabinares, cornicales y palmitos, que albergan a flamenco, tarro blanco y cigüeñuela. También de gran importancia ecológica, resaltan dos Paisajes Protegidos: Cuatro Calas, en la costa de Águilas (240 ha), un criptohumedal con vegetación de saladares; y Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor (1.186 ha). Entre las aves están: charrán, garza real, gaviota picofina, flamenco y avoceta. Las Islas e Islotes, fuera del Mar Menor, acogen cuatro tipos de hábitats comunitarios. Algunas islas son ZEPA: Isla Grosa (gaviota andouín), Islas Hormigas y Cueva de Lobos (paiño europeo del Mediterráneo), y Las Palomas (paiño y pardela cenicienta).

LA LAGUNA COSTERA SALINA DEL MAR MENOR

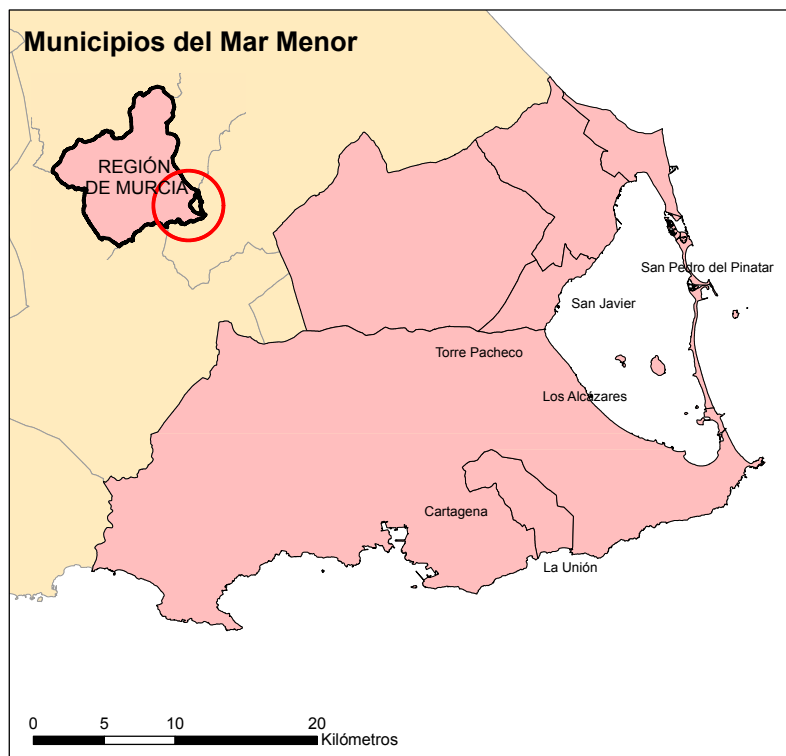
Caracteres y valores

Con 135 km² y profundidad media de 3 a 4 metros es la mayor laguna costera europea y del Mediterráneo (Figura 3), y con los recursos naturales más variados de la región, en confluencia de actividades sobre un territorio reducido (Pérez Ruzafa y Marcos Diego, 2003). El Mar Menor y los ecosistemas adyacentes abarcan unas 25.600 ha, la mayor parte ocupada por la laguna salada, semicerrada e hipersalina, conectada con el Mediterráneo por un sistema de golas o canales naturales en la barra arenosa de La Manga, una restinga de 24 km de longitud y anchura entre 100 y 900 m, un cordón litoral rectilíneo apoyado sobre afloramientos volcánicos. La costa occidental es el límite oriental del Mar Menor, que se extiende de norte a sur entre las lagunas

⁵¹ La vía natural de intercambio de agua entre el Mar Mediterráneo y el Mar Menor.

de Cotorrillo (San Pedro del Pinatar) y las Salinas de Marchamalo (Cabo de Palos); y la oriental, desde Cabo de Palos hasta el límite de Alicante. Su costa es baja y con suave curvatura al Mar Menor, de regosuelos arenosos, con islotes, pequeñas rasas y salinas. En el sector meridional de la laguna se localizan las islas: Barón, Perdiguera, Sujeto, Redonda y Ciervo (Martín de Agar *et al.*, 1986).

Fig. 3: Entorno del Mar Menor y municipios implicados



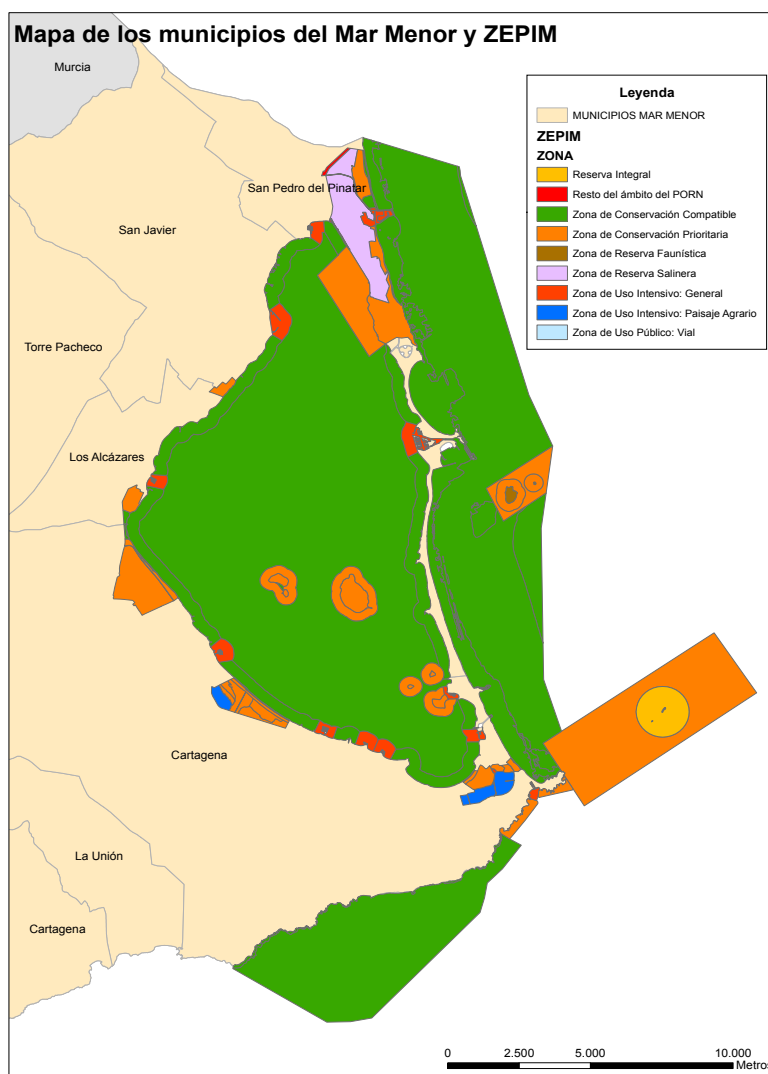
Fuente: Elaboración propia

Los altos niveles de salinidad del Mar Menor han actuado como barrera ecológica, determinando el paisaje sumergido, con alga clorofícea (*Caulerpa prolifera*) que ha ido desplazando a la fanerógama *Cymodocea nodosa*. Entre la ictiofauna resalta la aguja (*Syngnathus abaster*), caballito de mar (*Hippocampus hippocampus*) y anguila (*Anguilla anguilla*) (Murcia enclave ambiental, 2004). Incluye a las *Marismasseudomareales* o *encañizadas*, con gran relevancia de hábitats naturales (praderas de posidonia, lagunas, pastizales salinos mediterráneos, matorrales halófilos, estepas salinas, dunas fijas, matorrales de enebro y galerías ribereñas termomediterráneas) y 89 especies de flora.

Dispone de dos áreas protegidas por aplicación de convenios internacionales: el Humedal de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar *Mar Menor* (14.933 ha); y la ZEPIM *Área del Mar Menor y zona oriental mediterránea de la costa murciana*, con 27.503 ha y 59 km de costa (Figura 4), con Planes de Ordenación y Gestión y la

imposición del Protocolo sobre *Zonas Especialmente Protegidas y la Diversidad Biológica en el Mediterráneo*, que establece la supervisión de procesos ecológicos, hábitats, dinámica de poblaciones y paisajes y repercusión de actividades humanas. A partir de la inclusión en la lista ZEPIM (2003), se desarrolló el proyecto CAMP-Mar Menor (*Coastal Area Management Programme*), que incluía un *Plan Integral de Desarrollo Sostenible del Mar Menor* y su área de influencia, un modelo de planificación supramunicipal en el marco de la gestión integral de áreas costeras de la cuenca del Mar Menor (López Hernández *et al.*, 2012).

Fig. 4: Zonificación ZEPIM Área del Mar Menor y zona oriental mediterránea de la costa murciana



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Medio Ambiente de Murcia

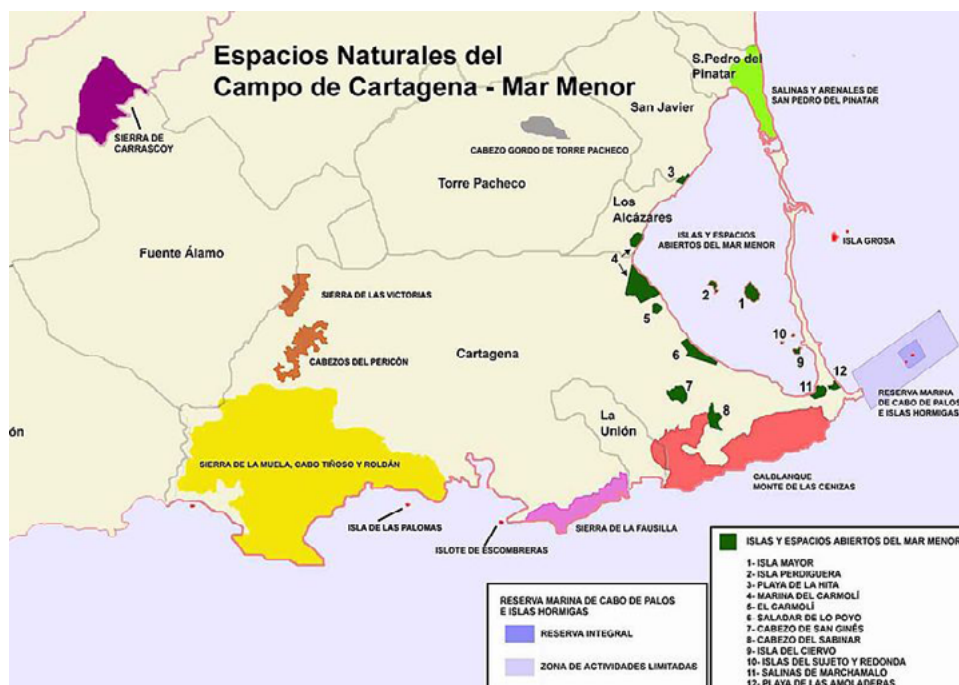
También los *Espacios abiertos e islas del Mar Menor* (Figura 5) son LIC, como parte del Humedal Ramsar por sus comunidades vegetales asociadas a la laguna y matorrales termófilos en cabezos e islas (Cuadro 1), con un Plan de Gestión orientado a la conservación de hábitats y especies de interés, y planificación de superficies que cumplen funciones de zonas de amortiguación y corredor ecológico.

Cuadro 1: LIC vinculados al Mar Menor

Nombre	Superficie (ha)
Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor	1.182,79
Islas e Islotes del Litoral Mediterráneo	40,91
Franja Litoral Sumergida de la Región de Murcia	12.826,61
Mar Menor	13.422,90

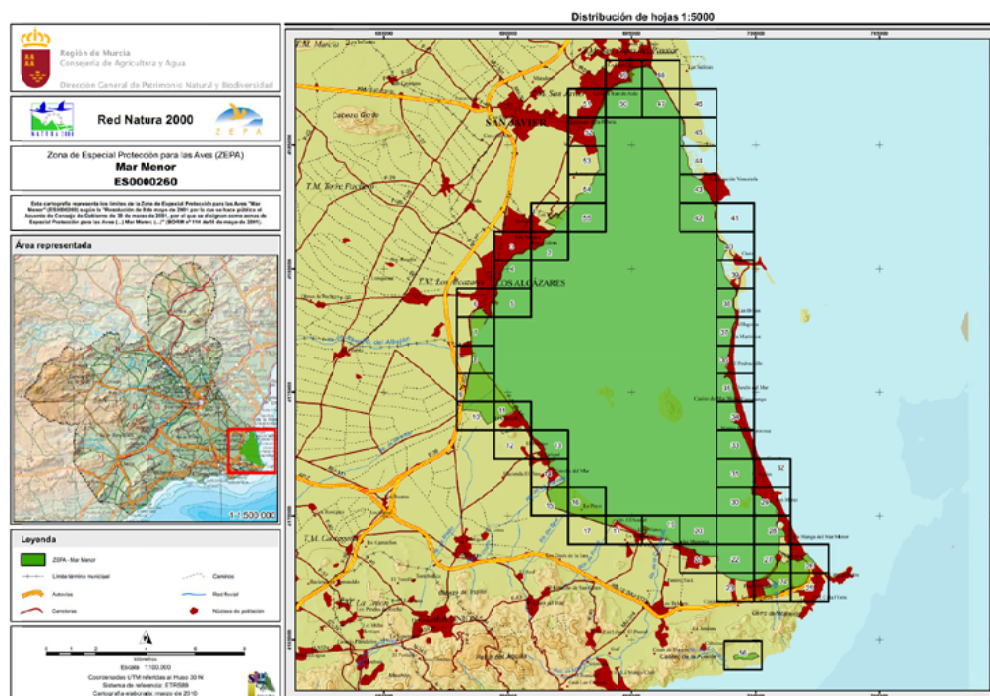
Igualmente es ZEPA (Figura 6) por la cigüeñuela y terrera marismeña, con medidas de conservación para evitar perturbaciones que afecten a las aves. Y cuenta con una Reserva Marina de interés pesquero, más los espacios protegidos citados (*Parque Regional Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar, Paisaje Protegido de Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor y Espacio Protegido de Islas e Islotes del Litoral Mediterráneo -Isla Grosa-*) (Espejo Marín y García Marín, 2011).

Fig. 5: Entorno del Mar Menor, localización y denominación de islas y espacios abiertos



Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Espacios_naturales_Mar_Menor02.jpg

Fig. 6: ZEPA Mar Menor (Red Natura 2000)



Fuente: Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad (Región de Murcia)

Por último, los espacios naturales marinos con categoría de espacios naturales protegidos podrán ser AMP (Áreas Marinas Protegidas), una categoría individualmente considerada (Giménez Casaldueiro, 2012). Para algunos autores (Ortiz García, 2003), abarcaría al resto de categorías, siempre que su ámbito espacial se oriente al medio marino. Por tanto, el Mar Menor, con sus figuras de protección, estaría en disposición de ser AMP.

La transformación radical de valores y entornos

Se inició con la *Ley de Centros y Zonas de Interés Turístico Nacional* (1963), que promovió la ordenación y urbanización de los principales centros turísticos de la Comunidad de Murcia, y que permitió un *Plan de Ordenación y Urbanización de La Manga*, base de la construcción masiva en los años noventa (Andrés Sarasa, 1995). Sirva como ejemplo que en los municipios de la ribera del Mar Menor se pasó de 4.500 viviendas a más de 11.000 en tan solo una década (2000-2009), cuando el crecimiento de la población fue del 26%.

Las viviendas construidas en resorts y campos de golf en las proximidades de la laguna han generado numerosos impactos sobre espacios litorales (Ponce Sánchez y Espejo Marín, 2009). Además, la transformación en las últimas décadas ha irradiado obras condicionadas por el desarrollo turístico: rellenado de terrenos, apertura y dragado de canales, crecimiento urbano, construcción de puertos deportivos, creación de playas, etc. (Figura 7). Se ha experimentado una mutación radical del entorno propiciada por la enorme demanda de viviendas para turismo residencial (Espejo Marín, 2010).

Fig. 7: Vista aérea de la laguna del Mar Menor



Fuente: <http://www.hernandezrabal.com/espana/murcia/mapamarmenor.jpg>

Hasta los años sesenta La Manga estaba en estado natural (Figura 8), y su rápido cambio la situará como uno de los centros turísticos más importantes a escala nacional e internacional, aprovechando su emplazamiento y clima benigno todo el año. Hasta el área de Punta de Algas y escuela de La Caleta, que se abre para permitir la entrada de aguas del Mediterráneo a través de las golgas de la encañizada de la Torre, ha visto transformado su trazado para la construcción de puertos deportivos, y los canales para comunicar ambos mares dragados para el paso de embarcaciones (Andrés Sarasa, 1994, 1995).

En 1962 el Ayuntamiento de San Javier aprobó un *Plan de Ordenación y Urbanización*, favorecido por la política turística impulsada desde el Ministerio de Turismo e Industria, incluida en los *Planes de Desarrollo Económico y Social*. La apertura al turismo internacional planteó un modelo de desarrollo basado en la *Ley de Zonas y Centros de Interés Turístico Nacional*. Se declararon 78 Centros de Interés Turístico Nacional, con más de 22.000 ha afectadas y unas 890.000 plazas de alojamiento. La mayor parte de los grandes centros construidos fueron promociones (Galiana Martín y Barrado Timón, 2006), que alumbraron una implantación turística especializada y relacionada con el mercado turístico masivo de sol y playa (Vera Rebollo, 1991) (Figura 9), no exenta de nefastas consecuencias ambientales: invasión de costa por construcciones particulares, eutrofización de aguas por instalación de puertos deportivos con espigones que obstaculizan el flujo natural de aguas (Figura 10), etc.

Figs. 8 y 9: Evolución de la restinga de La Manga del Mar Menor (año 1963 y actualidad)



Fuente: http://jesusgonzalezfonseca.blogspot.com.es/2013_07_01_archive.html

Fig.10: Eutrofización de aguas por interrupción de corrientes tras la construcción de instalaciones deportivas y de recreo (Los Urrutias)



Fuente: Aurelio Cebrián Abellán

Política regional de ordenación y protección

Una legislación precisa no ha podido hacer frente al crecimiento urbanístico descontrolado y sus consecuencias. La *Ley 3/1987 de Protección y Armonización del Mar Menor* pretendió abordar el desarrollo urbano con el ecosistema de la laguna (Calvo, 1996) a través de cuatro instrumentos de planeamiento: *Directrices de Ordenación Territorial*, *Plan de Saneamiento del Mar Menor*, *Plan de Armonización de Usos del Mar Menor* y *Plan de Ordenación y Protección del Litoral del Mar Menor*. La *Ley 4/1992 de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia* tuvo por objeto la creación de instrumentos para una ordenación acorde con la utilización racional del espacio por medio de Directrices regionales, subregionales y sectoriales, Programas territoriales y Actuaciones regionales.

En el Mar Menor se reclasificaron como Parques Naturales a las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar y Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila, y como Paisaje Protegido a los Espacios abiertos e Islas del Mar Menor. La citada ley permitió la inserción del Mar Menor en el *Convenio de Ramsar*. Dentro del *Convenio para la protección del medio marino y de la región costera del Mediterráneo* se enmarca el *Protocolo sobre Zonas Especialmente Protegidas y la Diversidad Biológica del Mediterráneo* (1995), que gestó las ZEPIM, entre las que se incluye el *Área del Mar Menor y zona oriental mediterránea de la costa de la Región de Murcia*. Y en 2010 surgieron los LIC del Mar Menor. Por último, la *Ley del Suelo de la Región de Murcia* (2005) reconocía la autonomía municipal en materia de urbanismo, y establecía instrumentos y mecanismos de ordenación y planeamiento urbanístico municipal, incluidos los de *Protección y Armonización de los Usos del Suelo del Mar Menor* (1987).

Entre los instrumentos de ordenación resaltan las DPOL (Directrices y Plan de Ordenación del Litoral de la Región de Murcia) [2004], después de ser transferida la ordenación del litoral a las Comunidades Autónomas (*Ley Orgánica 1/1998*). En el área Cartagena-Mar Menor impulsaron un modelo turístico hotelero y de servicios, en detrimento del existente de segunda residencia, tras la calificación o recalificación de suelo residencial a uso turístico hotelero. Se implantaron medidas para contener la urbanización de la línea de costa, y en el sector de La Manga-Cabo de Palos se aprobaron Planes de Ordenación del Litoral. Estas Directrices acometieron un modelo territorial inspirado en los principios directores de la *Estrategia Territorial Europea* (Romero González, 2005).

Hay que mencionar a los instrumentos de gobernanza ligados al aprovechamiento turístico (mancomunidades, consorcios, planes de dinamización, excelencia y competitividad turística) y a las denominadas otras iniciativas (fundaciones y comisiones). La *Mancomunidad Turística Mar Menor* (1992), integrada por los ayuntamientos de San Pedro del Pinatar, San Javier, Los Alcázares y Cartagena, fue gestada para desarrollar proyectos en el entorno de la laguna, como la homogeneización de playas e infraestructuras. Creó la Estación Náutica Mar Menor para darlo a conocer como recurso para la práctica de vela, piragüismo y motonáutica; y el *Plan de Excelencia Turística del Mar Menor*, el *Consortio Turístico Mancomunidad del Mar Menor*, y el SICTED (Sistema de Calidad en Destinos), un producto tecnológico de Turespaña.

Por su parte, los consorcios turísticos han pretendido consolidar estructuras de gestión turística y la promoción de productos turísticos. *La Manga Consorcio* (1999),

integrado por los ayuntamientos de Cartagena, San Javier y a la Administración Regional (Comunidad de Murcia), se centró en articular la cooperación en servicios y actividades públicas en La Manga del Mar Menor. Semejantes objetivos se propuso el *Consortio Turístico Mancomunidad del Mar Menor* (2007), entre la Comunidad de Murcia y la Mancomunidad de Servicios Turísticos del Mar Menor, y el *Consortio Estación Náutica Mar Menor* (dinamización y fomento del turismo). Y el *Consortio para el Centro de Talasoterapia de San Pedro del Pinatar* se ejecutó proyectando áreas de mejora de la salud. El *Consortio Turístico Sierra Minera* (2004), constituido por la Administración Regional y los Ayuntamientos de Cartagena y La Unión, procuraría la dinamización y fomento del turismo en ese espacio montañoso cercano a la albufera.

Con referencia a otras figuras, el *Plan de Dinamización Turística de la Sierra Minera de La Unión y Cartagena* (2005) y el *Plan de Excelencia Turística del Mar Menor* (de la misma fecha) se orientaron, entre otros frentes, a la mejora del medio urbano y natural; y el *Plan de Competitividad Turística de la Manga del Mar Menor Turismo Náutico* y el *Plan de Competitividad de la Manga del Mar Menor Turismo Náutico* (2010) en reposicionar a La Manga en este tipo de turismo como producto complementario, y a la vez diferenciador al de sol y playa.

Y en las denominadas otras iniciativas resalta la *Fundación Cluster para la Protección y Conservación del Mar Menor*, dependiente de la Comunidad Autónoma, para impulsar la cooperación y corresponsabilidad en protección y conservación de actores económicos y sociales con incidencia en el Mar Menor. Ha realizado proyectos científicos (Investigación Técnico-Jurídica sobre la Directiva Marco del Agua, Recopilación de planes, programas, estudios y proyectos en el ámbito geográfico del Mar Menor y su área de influencia, Modelo hidrodinámico en el Mar Menor, Balance hídrico del Mar Menor...), de conservación (Plataformas de nidificación en las Salinas de San Pedro del Pinatar, Estudio de movilidad para el Mar Menor y su área de influencia...), educación ambiental (El Mar Menor, un ecosistema vivo), voluntariado ambiental (restauración de la Marina del Carmolí, censo de flora y fauna...), etc. Mientras que la *Comisión Mar Menor*, con origen en el documento *Primera aproximación para la concertación de un Programa de Acción en el Área del Mar Menor* (2007), ha realizado diagnósticos de afectaciones de dominio público hidráulico, marítimo-terrestre y patrimonio natural, abordando la fragilidad de las condiciones ambientales. Fue creada por la Demarcación de Costas en Murcia con el objetivo de diagnosticar la problemática del Mar Menor y su área de influencia, y establecer estrategias de desarrollo sostenible. Aportaría la *Primera aproximación para la concertación de un programa de acción en el área del Mar Menor* (2009), y un inventario-diagnóstico de las riberas. Con todo, puede decirse que en la Comunidad de Murcia la GIZC (Gestión Integrada de Zonas Costeras) no parece ser una prioridad para las administraciones territoriales (Espejo Marín, 2010), cuando es la principal apuesta de la Unión Europea para su litoral (Serrano Rodríguez, 2010).

CONCLUSIONES

El turismo de naturaleza, entendido en sus vertientes de esparcimiento, práctica deportiva en medio natural, o interpretación y conocimiento de la naturaleza sin degradar recursos (Ministerio de Industria Turismo y Comercio, 2004), es un sector

creciente, con alza de ecoturistas científicos, turistas de territorio y naturaleza, y ocasionales de naturaleza. Es un modelo cualitativo y de propuestas cercanas, que aún padece cierto desconocimiento de la oferta.

Como actividad más representativa acoge al senderismo, aunque en Murcia las actividades náuticas y subacuáticas son significativas por la fuerte concentración turística del modelo costero. De ahí que se requiera diversificación y desestacionalidad, con una salida en el turismo de naturaleza, como ha ocurrido con el cultural. Para ello se cuenta con la diversidad del medio, con una oferta natural abundante y profusa base protectora.

Los humedales son notables y su distribución amplia, con diversidad y contrastes entre litoral e interior, y de aguas salinas y dulces, que aportan gran riqueza biológica. Y con enclaves dispersos que permiten abarcar buena parte de la región. Para su aprovechamiento están: las visitas científicas limitadas (como contemplación de aves migratorias), que llevan implícita la observación y disfrute de paisajes (incluida flora endémica, vegetación acuática, especies vulnerables, amenazadas o de valor florístico, de interés especial, raras, en peligro de extinción, entre otras y fauna acuática, invernante o nidificadora); y la práctica de la fotografía paisajística (enmarques de ribera, láminas de agua, por señalar un par de atractivos). Además, las posibilidades deben de ir dirigidas a más expectativas, implicando a turistas derivados de sol y playa hacia visitas de humedales de interior, y del turismo religioso del noroeste (donde está Caravaca de la Cruz, ciudad santa de la cristiandad) hacia los interiores y de costa.

El Mar Menor y área circundante es uno de los espacios en que más se ha ordenado y protegido recursos en las tres últimas décadas, después de que los desmanes hubieran dejado una huella imborrable. Pero, a pesar del escaso calado de la abundante legislación, ya se reconocen el valor natural del litoral y las presiones que registra, aunque no se ha contenido el proceso urbanizador, porque faltan esquemas de planificación supramunicipal. Ello aclara que las iniciativas de gestión integrada específicas para el litoral hayan sido tan poco exitosas. La conclusión es que se ha llegado tarde en muchos aspectos, con afectaciones ya irreversibles. Con todo resalta la multiplicación de niveles y áreas de protección, con renovadas esperanzas, identificadas con modernas experiencias de planificación y gestión, que aún requieren de encaje en el ordenamiento legislativo.

La *Mancomunidad de Servicios Turísticos del Mar Menor* es uno de los pocos ejemplos de agrupación municipal que funciona. Entre tanto, los consorcios solo han actuado a través de los Planes de Dinamización, Excelencia y Competitividad Turística. Es decir, que lo gestionado ha obedecido al aprovechamiento turístico. Los problemas que le afectan deberían conducir a una Gestión Integrada del litoral murciano, imprescindible para esta laguna por su especificidad. La superposición territorial de las abundantes áreas protegidas impone esfuerzos de planificación, coordinación y aplicación de instrumentos más eficaces. Y el proyecto CAMP-Mar Menor es una iniciativa de integración territorial y supramunicipal que abarca toda la cuenca, convertida en intento de gestión integral de zonas costeras. Además, conlleva la múltiple participación de administraciones locales y diferentes sectores sociales y económicos implicados. Es una figura que requiere de incorporación al régimen jurídico básico nacional de la

conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y biodiversidad, porque otorga protagonismo a los espacios marinos en la legislación ambiental.

NOTA METODOLÓGICA

El trabajo analiza con enfoque territorial integrado la protección del medio natural en la Comunidad de Murcia, y específicamente de humedales preservados. Sitúa las distintas dimensiones que han afectado a lugares con interés tanto ecológico como turístico, y de forma concreta a la laguna del Mar Menor. El objetivo se centra en procesos y sus resultados, y en necesidad de cambios a nuevos modelos de protección más racionales y cohesionados.

El primer paso ha consistido en la aproximación al patrimonio a través de una revisión sistemática de la literatura existente. Un segundo escalón es la identificación y clarificación del marco de protección a diferentes escalas (tratados internacionales, convenios, estrategias, legislaciones, programas y planes de actuación, además de otros), y niveles de competencia (internacional, nacional, autonómico y local). Sobre ese sustrato se genera el diagnóstico actual del patrimonio natural de Murcia, con especial atención a humedales. Un último paso es la constatación de la secuencia en el humedal más representativo, y el que mayor problemática acumula. Se estudia la protección y evolución, y se recopilan las experiencias de ordenación, vinculadas a la gestión del turismo, así como las acciones múltiples realizadas y nuevas iniciativas.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- ALCARAZ ARIZA, F. (2007). "Flora vascular y vegetación". *Atlas Global de la Región de Murcia*, Cap. II. El medio natural. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia- La Verdad, Murcia, 230-239.
- ANDRÉS SARASA, J. L. (1994). "Región de Murcia", en CARRERAS VERDAGUER, C. y GARCÍA BALLESTEROS, A. (dirs.) *Geografía de España*, Barcelona: Océano-Instituto Gallach, Vol. 13; 2.410-2.541.
- (1995). *Urbanismo contemporáneo: la Región de Murcia*, Murcia: Universidad de Murcia.
- ARAÚJO VILA, N.; PAÛL CARRIL, V. y FRAIZ BREA, J. A. (2011). "El turismo activo o de aventura como componente destacado del turismo de naturaleza. Análisis de la oferta en Galicia". *Gran Tour. Revista de Investigaciones Turísticas* N° 4; 8-31. Murcia.
- ÁREA DE ECOLOGÍA (1989). *Inventario Abierto de los Humedales de la Región de Murcia*. Agencia Regional para el Medio Ambiente y la Naturaleza. Comunidad Autónoma de Murcia.
- BARREITA LÓPEZ, A.; BOUZADA VILLAR, E.; ROMO NAVA, P. y GIMÉNEZ CASALDUERO, M. (2009). *Gobernanza para la protección del medio marino en España: Guía Práctica*, Madrid: Instituto Internacional de Derecho y Medio Ambiente (IIDMA).
- BELMONTE SERRATO, F. (2007a). "Los cursos superficiales de agua", en *Atlas global de la Región de Murcia*, Cap. II. El medio natural. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia-La Verdad Murcia, 200-209.
- BELMONTE SERRATO, F. y ROMERO DÍAZ, A. (2007b). "Cuenca de Abanilla-Fortuna", en *Atlas global de la Región de Murcia*, Cap. IV. La organización del territorio: las comarcas.

- Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia-La Verdad Murcia, 491-500.
- CALVO SENDÍN, J. F. (2007). "La fauna", en *Atlas global de la Región de Murcia*, Cap. II. El medio natural. Comunidad, de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia-La Verdad Murcia, 240-249.
- CEBRIÁN ABELLÁN, A. *et al.* (2001). "La actividad turística patrimonial y la organización del territorio", en CEBRIÁN ABELLÁN, A. (coord.) *Turismo cultural y desarrollo sostenible. Análisis de áreas patrimoniales*. Universidad de Murcia, 47-70.
- CEBRIÁN ABELLÁN, A. (2004). "Sostenibilidad ambiental y turismo de traspais en España". *Nimbus*, Nº 11-12, Universidad de Almería, 46-66.
- (2006). "Ordenación turística y cooperación interinstitucional en la Comunidad de Murcia". *Nimbus*, Nº 17-18. Universidad de Almería, 5-22.
- (2007). "El Noroeste de Murcia", en *Atlas Global de la Región de Murcia*, Cap. IV. La organización del territorio: las comarcas. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia-La Verdad, Murcia, 404-417.
- (2008). "Región de Murcia". *Turismo en espacios rurales y naturales. Atlas Nacional de España, Serie Monografías*. Cap. IV. Las Comunidades Autónomas. Ministerio de Fomento-Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 328-333.
- CONSEJERÍA DE TURISMO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (2002). *Diagnóstico turístico de la Región de Murcia*, Murcia.
- CONSEJERÍA DE TURISMO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (2003). *Memoria*. Comunidad Autónoma de Murcia, Murcia.
- DIRECCIÓN GENERAL DE EMPRESA (2002). *El patrimonio natural y cultural como factor de desarrollo del turismo sostenible en los destinos turísticos no tradicionales*. Comisión Europea, Unidad de Turismo, Bruselas.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO NATURAL (2003a). *El componente vegetal de los humedales de la Región de Murcia: catalogación evaluación de la rareza y propuestas y medidas para su conservación*. Consejería de Agricultura y Agua. Comunidad Autónoma de Murcia, Murcia.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO NATURAL (2003b). *Los humedales de la región de Murcia: claves para su interpretación*. Consejería de Agricultura y Agua. Comunidad Autónoma de Murcia, Murcia. Edición Multimedia Instituto de Ciencias Sociales y Ambientales.
- ESPEJO MARÍN, C. (2001). "La Manga del Mar Menor", en *La actividad turística española en 2000*, Asociación Española de Expertos Científicos en Turismo, Castellón de la Plana; 507-511.
- (2010). "La gestión integral de zonas costeras en Murcia", en FARINÓS, J. y CORTÉS, M.C. (eds). *Revisando la Gestión Integrada de Zonas Costeras*. Valencia, Instituto Interuniversitario de Desarrollo Local, Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia y Ministerio de Ciencia e Innovación. 6 pp.
- ESPEJO MARÍN, C. y GARCÍA MARÍN, R. (2011). "Intentos de gobernanza de un espacio mediterráneo sometido a gran presión: el caso del Mar Menor en Murcia", en FARINÓS, J. (ed. y coord.). *La Gestión Integral de Zonas Costeras ¿Algo más que una ordenación del litoral revisada?*, Valencia: Universitat de Valencia; 291-319.
- ESPEJO MARÍN, C. y GARCÍA MARÍN, R. (2011). "La Manga Consorcio. Instrumento de gobernanza en un espacio turístico singular del sureste de España". Seminario Internacional: Renovación y reestructuración de destinos consolidados del litoral. Universidad de Alicante, Noviembre.

- ESTEVE, M. A.; CABALLERO, J. M.; GIMÉNEZ, A.; ALEDO, E.; BARAZA, F.; GUIRAO, J.; ROBLEDANO, F. y TORRES, A. (1995). "Los paisajes del agua en la Región de Murcia. Caracterización ambiental y perspectivas de gestión de los humedales", en SENENT, M. y CABEZAS, F. (eds.). *Agua y Futuro en la Región de Murcia*. Asamblea Regional de Murcia, 301-341.
- EUROPARC (2010). *Anuario EUROPARC-España 2009 del estado de los espacios naturales protegidos*. Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid.
- COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA (2011). *Anuario Estadístico de la Región de Murcia. Datos Regionales. T. I*. Murcia. También en: FAMILITUR: Movimientos turísticos de los españoles. Instituto de Estudios Turísticos. Madrid.
- GALIANA MARTÍN, L. y BARRADO TIMÓN, D. (2006). "Los Centros de Interés Turístico Nacional y el despegue del turismo de masas en España". *Investigaciones Geográficas*, Nº 39; 73-93.
- GIMÉNEZ CASALDUERO, M. (2012). "Las Áreas Marinas Protegidas y su incidencia en la situación jurídica de los espacios marinos de la Región de Murcia", en ESTEVE M. A.; MARTÍNEZ, J. M. y SORO, B. (eds.). *Análisis ecológico, económico y jurídico de la Red de Espacios Naturales en la Región de Murcia*. EDITUM, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia (España).
- GONZÁLEZ ORTÍZ, J. L. (2007a). "Comarca de Lorca", en *Atlas Global de la Región de Murcia*, Cap. IV. La organización del territorio: las comarcas. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia- La Verdad, Murcia, 468-479.
- (2007b). "Comarca de Cartagena-Mar Menor", en *Atlas Global de la Región de Murcia*, Cap. IV. La organización del territorio: las comarcas. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia-La Verdad, Murcia, 478-489.
- INSTITUTO PARA LA MODERNIZACIÓN DE ESPAÑA (1998). *El problema del agua en España*, Madrid: Fundación IME.
- LACAMBRA GAMBAU, V. M. (1997). "La valoración del patrimonio natural a través del fomento del turismo. El caso del Somontano de Barbastro". *Revista de Desarrollo Local y Cooperativismo Agrario*, Nº 1. Unidad de Economía Agraria, Universidad de Zaragoza, 301-317.
- LÓPEZ HERNÁNDEZ, A.; GUIRAO SÁNCHEZ, J.; MARTÍNEZ PALAO, M. y CLIMENT VALIENTE, M.A. (2012). "Avances en la planificación de los espacios naturales de la Región de Murcia", en ESTEVE, M. A.; MARTÍNEZ, J. M. y SORO, B. (eds). *Análisis ecológico, económico y jurídico de la Red de Espacios Naturales en la Región de Murcia*. EDITUM, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia (España).
- MARTÍN DE AGAR, P., TORRES, A. y RAMÍREZ-DÍAZ, L. (1986). "Ecología y ordenación del territorio: el caso del Mar Menor y ecosistemas adyacentes (Murcia; SE de España). I: prospección y sectorización del medio físico". *Anales de Biología (Biología Ambiental)* Nº 8; 71-84.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO (2004). *El turismo de naturaleza en España y su plan de impulso*. Secretaría General de Turismo, Madrid.
- MULERO MENDIGORRI, A (1999). *Introducción al medio ambiente en España*, Barcelona: Editorial Ariel.
- NAVARRO HERVÁS, F. y GRANELL PÉREZ, C. (2007). "Bajo Guadalentín-Mazarrón", en *Atlas Global de la Región de Murcia*, Cap. IV. La organización del territorio: las comarcas. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia- La Verdad, Murcia, 452-467.
- ORTIZ GARCÍA, M. (2003). *La gestión eficiente de la zona costera. Los Parques marinos*, Valencia: Tirant Lo Blanch.

- PARDO, M^a T. *et al.* (2003). Relaciones especies-área en los Saladares del Guadalentín (SE ibérico, España), e implicaciones para la conservación, restauración y gestión". *Anales de Biología*, N^o 25, 91-102.
- PÉREZ FERNÁNDEZ, J. M. (2001). *Régimen jurídico del turismo rural*, Madrid: Investigación Turística-FITUR.
- PÉREZ RUZAFÁ, A. y MARCOS DIEGO, C. (2003). "El Mar Menor", en ESTEVE, M. A. *et al.* (eds.) *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*, Universidad de Murcia, Murcia; 404-411.
- PONCE SÁNCHEZ, M. D. y ESPEJO MARÍN, C. (2009). "La percepción de los resorts de la Región de Murcia a través de la prensa", en MAZÓN, T., HUETE, R. y MANTECÓN, A. (eds.). *Turismo, urbanización y estilos de vida. Las nuevas formas de movilidad residencial*, Barcelona: Icaria; 438-450.
- REVISTA MURCIA ENCLAVE AMBIENTAL (2004). N^o 2, Enero de 2004. Revista Digital editada por la Dirección General de Medio Ambiente. Consejería de Presidencia, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- ROBLEDANO AYMERICH, F. (2003). *Los humedales de la Región de Murcia: recopilación de valores faunísticos asociados a humedales de zonas áridas*, Murcia: Instituto de Ciencias Sociales y Ambientales.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (2007). "Las aguas subterráneas", en *Atlas global de la Región de Murcia*, Cap. II. El medio natural. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia- La Verdad, Murcia, 210-217.
- ROMERO GONZÁLEZ, J. (2005). "El gobierno del territorio en España. Balance de iniciativas de coordinación y cooperación territorial", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, N^o 39; 59-86.
- SECRETARIADO DE LA RED DE AUTORIDADES AMBIENTALES (2001). *Hacia un turismo sostenible. Como integrar el medio ambiente en el sector turístico*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid web-rama@mma.es.
- SERRANO MARTÍNEZ, J. M^a y GONZÁLEZ ORTIZ, J. L. (2007). "Área metropolitana de Murcia", en *Atlas Global de la Región de Murcia*, Cap. IV. La organización del territorio: las comarcas. Comunidad de Murcia-Asamblea Regional de Murcia- Fundación Cajamurcia- La Verdad, Murcia, 490-499.
- SERRANO RODRÍGUEZ, A. (2010). "Estrategia para la sostenibilidad de la costa. Crónica y autocrítica de un proyecto interrumpido", en FARINÓS, J. y CORTÉS, M. C. (eds.). *Revisando la Gestión Integrada de Zonas Costeras*. Valencia, Instituto Interuniversitario de Desarrollo Local, Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia y Ministerio de Ciencia e Innovación; 6 pp.
- VERA REBOLLO, J. F. (1991). "El turismo", en *Atlas Región de Murcia*. Comunidad Autónoma y diario La Opinión, Murcia; 301-312.
- VV. AA. (1999). *Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales, en el marco de los ecosistemas acuáticos de que dependen*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente.

Los últimos humedales en el Distrito Federal: Xochimilco y Tláhuac, servicios ambientales y la ruta hacia su preservación

Raúl Castelán Cabañas¹, Ameris Ixchel Contreras Silva²,
Felipe Omar Tapia Silva³

“Un retorno a la ciudad lacustre es una propuesta impregnada de utopía, pero que vale la pena tomar en cuenta, porque se encamina a romper con la paradójica historia de desaguar un valle que corre el riesgo de morir de sed”

(Aréchiga-Córdova, 2004)

Resumen: El Distrito Federal (DF), alberga los últimos vestigios de lo que algún día fue la zona lacustre de la Cuenca de México: Los últimos humedales. Estos ecosistemas son severamente amenazados por el avance de la mancha urbana, por el excesivo uso de agua subterránea y por la insuficiencia de las actividades de planeación y manejo integral adecuados para fines de uso sostenible de los recursos inmersos en ellos. El presente documento incluye una investigación extensa de los principales servicios ambientales que estos ecosistemas brindan al gran conglomerado urbano de la Cuenca de México e ilustra la problemática observada en los mismos desde la conquista hasta nuestros días. Partiendo de lo anterior, se propone una base conceptual que permita la construcción de un artefacto Geomático que dirija una adecuada gestión de los recursos en la zona de estudio.

Palabras clave: Humedales, Xochimilco, Tláhuac, Servicios ambientales, Preservación.

Abstract: Mexico City holds the lasts vestiges of what once was the lacustrian area of the basin in Valle de Mexico: the lasts wetlands. These ecosystems are being severely threatened by the

¹ Especialista en Gestión Ambiental por la Universidad Autónoma de Baja California. Analista de proyectos en la Gerencia Operativa del Consejo de Cuenca de México. Correo: castelanraul@gmail.com

² Maestra en Geomática. Investigadora RedGeo del Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A.C. México D.F. Correo: amerisixcontreras@gmail.com

³ Profesor Investigador titular de la UAM-Iztapalapa, Departamento de hidrobiología. Coordinador del laboratorio de Geomática aplicada a Recursos Naturales (Geomática, SIG y Percepción Remota).

growing urban monster, the excessive consumption of subterranean waters, plus the planning activities' and integral management's insufficiency, which are supposed to have sustainable purposes towards the natural resources involved within them. The following document includes a vast research of the main ecosystem services which these habitats provide to the urban compound in Mexico's basin and illustrates the already known problematic, in those mentioned, from the colony times to our present days. Following on from this, it is proposed a conceptual foundation that allows the construction of a Geomatic artifact that leads on an adequate management on the study's zone resources.

Keywords: Wetlands, Xochimilco, Tláhuac, Ecosystem services, Preservation.

INTRODUCCIÓN

El proceso de degradación ambiental de la Cuenca de México inicia cuando la región meridional de Chalco-Xochimilco experimenta una compleja red de transformaciones artificiales. Durante los inicios de este proceso, buena parte de sus pantanos y lagunas se convirtieron en una inmensa zona de cultivo con el método tradicional agroecológico de la época prehispánica del centro de México: La chinampa. Sin embargo, con los primeros esfuerzos por desaguar la Cuenca de México se comenzó un continuo proceso de deterioro ambiental relacionado fuertemente con factores como sobreexplotación del acuífero para abastecimiento de agua en la Ciudad, uso inadecuado de suelo, la presión sobre el suelo no urbano y extensión exhaustiva de la mancha urbana; así como hundimiento diferencial del terreno y descarga masiva de aguas negras difíciles de tratar por la enorme carga de agentes contaminantes.

Pese a todas las modificaciones e impactos negativos que esta zona ha sufrido a lo largo del tiempo, esta aún genera a escala local y regional una serie de servicios ambientales vitales para el correcto funcionamiento de los núcleos poblacionales establecidos en la Cuenca de México, los cuales son descritos como parte de los resultados en este trabajo.

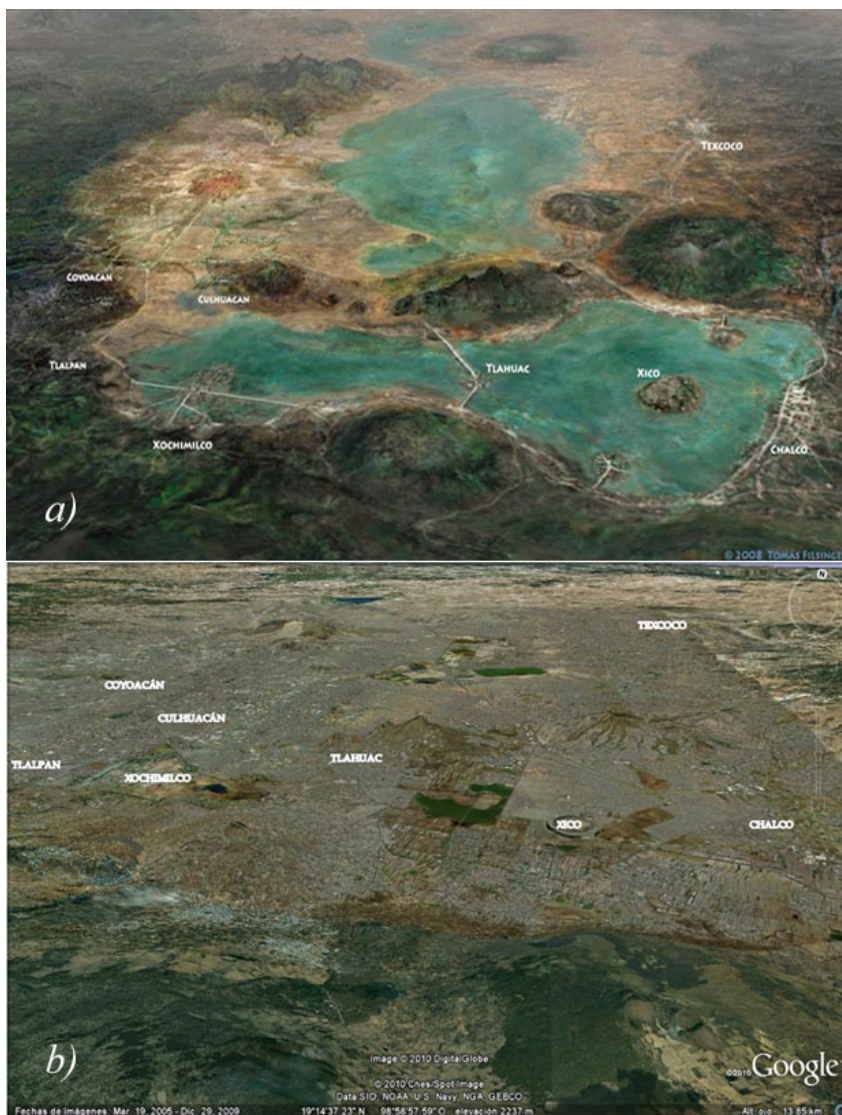
Inicialmente, se incluye una sección sobre el contexto geográfico e histórico, así como una síntesis de la problemática observada y la búsqueda de iniciativas que tienen como objetivo principal la conservación de la zona de estudio. Considerando lo anterior, apartados subsecuentes en este capítulo, incluyen el marco conceptual y las características de un artefacto Geomático, que se busca, sea la base para poder preservar estos ecosistemas y sus servicios asociados. El documento cierra con una serie de apuntes finales respecto al desarrollo de esta iniciativa para incidir en la preservación de estos ecosistemas fundamentales para la historia y funcionamiento de la Ciudad de México y su zona conurbada.

CONTEXTO GEOGRÁFICO E HISTÓRICO

La ciudad de México, localizada en la Cuenca de México, posee un escenario estructural y geológico único en su tipo, con una elevación promedio de 2200 msn, es una planicie rodeada por sierras volcánicas la Sierra de Las Cruces al poniente, la Sierra Guadalupe al norponiente y las sierras de Río Frío y Nevada al oriente (Flores-Estrella,

et al., 2007). La aparición de la Sierra de Chichinautzin cerró el paso natural del agua, transformándola en una cuenca endorreica con una extensión de 9600 km² (Burns, 2009). En este espacio, ahora ocupado por una interminable capa de asfalto, hace solo unos cientos de años se encontraba una red de lagos que se fusionaban temporalmente y a cuya vera, sus primeros pobladores transitaron hace decenas de miles de años (Aréchiga-Córdoba, 2004) (Figura 1).

Fig. 1: (a) Vista panorámica del Valle de México durante el Imperio Azteca, alrededor del siglo XV y (b) vista panorámica actual del Valle de México



Antes de la conquista española, la Cuenca de México (CVM) se encontraba ocupada por un conjunto de pueblos bajo el dominio de la alianza Tenochtitlan-Tlatelolco. Los pobladores fueron capaces no solo de explotar con eficiencia el lago y las montañas que lo rodeaban, también aprovecharon manantiales y ríos mediante una compleja red de transformaciones artificiales convirtiendo pantanos y lagunas en una inmensa chinampería. Este sistema productivo agrícola intensivo, único en su tipo, fue desarrollado mediante una sucesión de campos elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho del lago (Ezcurra, 1996). La extensión de este patrón de cultivo sin contar las islas, se ha calculado en 120 km², de los cuales 9000 ha eran parcelas chinamperas.

Con base en el desarrollo chinampero las civilizaciones asentadas en las zonas lacustres en la región meridional de Chalco-Xochimilco alcanzaron un alto nivel de desarrollo durante los siglos XIV al XVI. Con la obtención de cosechas abundantes se abastecía de alimentos a la población de la CVM y se fomentó el desarrollo de las primeras aldeas (Rojas-Rabiela, 2004). Desde entonces la zona fue habitada ininterrumpidamente por grupos que rápidamente construyeron ciudades que se contaron entre las más grandes y renombradas de su época. Cabe destacar que también fueron capaces de realizar obras de ingeniería que les permitían controlar las aguas del lago y abastecer de agua dulce a sus ciudades (Rojas-Rabiela, 2004).

Del enorme legado producto de esa larga historia es poco lo que queda a la vista. La expansión de la metrópoli no solo ha dañado aquel extraordinario medio ambiente (ver ejemplo en la figura 2), también ha provocado la destrucción de los vestigios prehispánicos. Uno de los últimos cuerpos de agua remanentes de la gran CVM se encuentra inmerso en la zona chinampera de Xochimilco y parte de Tláhuac.

El estudio de esta zona es de gran importancia para entender el desarrollo cultural, ambiental y social de las transformaciones de la Cuenca de México. Por mucho tiempo Xochimilco abasteció a la Ciudad de México de productos agrícolas. Así mismo, la utilización de canoas y trajineras –embarcaciones de madera con fondo plano que navega en aguas poco profundas, impulsada por un remero de pértiga, de modo similar al de las góndolas venecianas⁴– fueron un importante medio de transporte útil para personas y para el comercio regional. La zona lacustre constituye la expresión de una cultura que está integrada por elementos básicos religiosos, relacionados con la agricultura y rituales que determinan en gran medida la vida, así como las relaciones familiares y comunales de sus pobladores (GDF, 2004).

⁴ <http://www.xochimilco.df.gob.mx/tablet/tradiciones.html>;
<http://www.xochimilco.df.gob.mx/tablet/tradiciones.html>

Fig. 2: Calzada de la Viga aproximadamente en el año 1877 (a) y la misma calzada en la actualidad (b)



La problemática de los humedales del Distrito Federal data desde que iniciaron los esfuerzos por desaguar la Cuenca de México, en la fuerte confrontación de dos culturas, desde el momento de la conquista (Aréchiga-Córdoba, 2004). Con la Conquista, las ciudades de la cuenca fueron rediseñadas según la traza de los pueblos españoles y la superficie lacustre comenzó a ser considerada incompatible con el nuevo estilo de edificación y uso de la tierra. A partir del siglo XVII, comenzaron a construirse obras de drenaje de tamaño y complejidad crecientes, con el objeto de librar a la ciudad del riesgo de inundaciones y de secar el lodoso subsuelo del fondo del lago (Ezcurra, 1996: 4). El proyecto más importante para desaguar la CVM fue en la época colonial con Enrico Martínez, quien dirigió las obras para abrir el socavón de Nochistongo, mediante el cual se desviaban las aguas del río Cuautitlán hacia el cauce del río Tula. En la época porfiriana cuando esta labor fue considerada prioridad del gobierno. Entre 1886 y 1900 se construyó un canal de más de 47 km en Tequixquiac, así como un conjunto de presas, puentes y viaductos, este proyecto también incluía la construcción de una red de alcantarillado cuyas aguas residuales se arrojarían al gran canal. Estas obras, a su vez, produjeron cambios en el medio ambiente de la cuenca, pero su expresión principal ha sido la desecación de los lagos. Sin embargo, las obras porfirianas no lograron terminar con las inundaciones, la ciudad de México volvió a anegarse sucesivamente (Aréchiga-Córdoba, 2004).

PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS HUMEDALES

En la actualidad se está en proceso de construcción del túnel emisor oriente, con la finalidad de resolver la problemática del sistema de drenaje y así reducir los riesgos de inundaciones, este tendrá una longitud aproximada de 62 km, siete metros de diámetro y una capacidad de desalojo de hasta 150,000 l/s de aguas residuales (CONCAMIN, 2010).

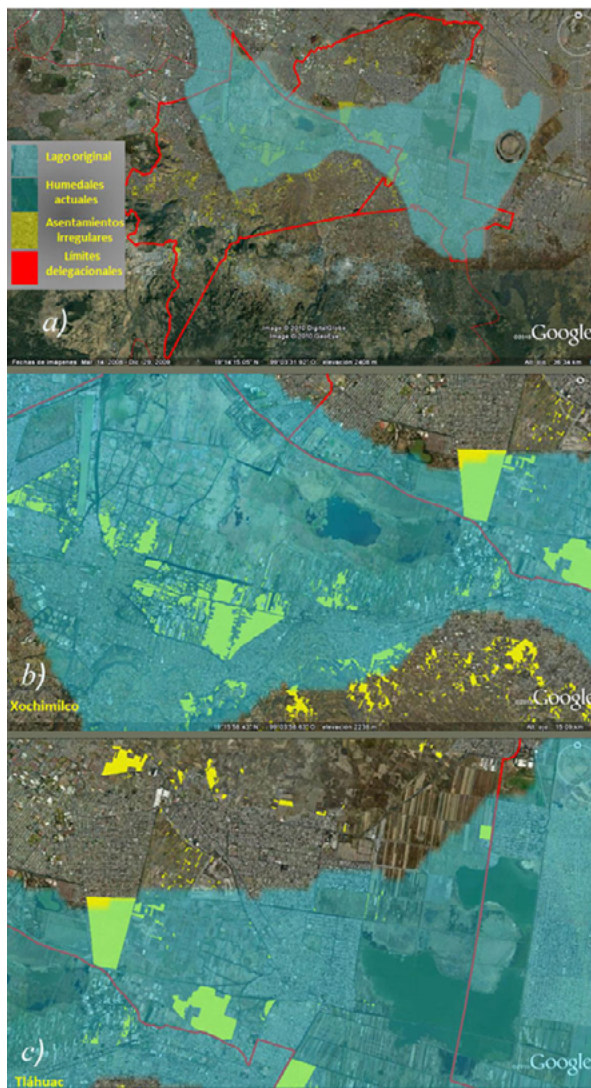
Es importante mencionar que la zona lacustre de Xochimilco almacena aguas pluviales y parte de las aguas del drenaje de la ciudad. Las primeras resultan trascendentales para la seguridad de la Ciudad, debido a que el exceso de agua en época de lluvias es desviado de la ciudad de México, a la zona de canales y chinampas de Xochimilco, sirviendo así como vaso regulador por medio de los cuales se evitan inundaciones (Merlín, 2009). En cuanto a las aguas del drenaje, estas son tratadas en plantas procesadoras y vueltas a incorporar al sistema de distribución de aguas de la ciudad. El volumen total de aguas tratadas es de 2,000 l/s, que, además de utilizarse en los canales de Xochimilco son usadas para riego o para uso industrial (Ezcurra, 1996).

El entubamiento de los manantiales en la zona es un factor adicional que ha causado la disminución de la carga hidráulica ascendente y con ello el aporte de agua subterránea a los canales, lo que ha favorecido la consolidación y fracturas del suelo, así como hundimientos de la zona. Por otra parte, en la década de 1980 inició la operación de catorce pozos, denominado como el Sistema Mixquic-Santa Catarina, en la Planicie de Chalco ubicada al sureste de la Ciudad de México. Este evento también causó una de las transformaciones ambientales del paisaje más importantes de la Cuenca de México en las últimas dos décadas, con profundas implicaciones sociales y económicas asociadas al riesgo progresivo de hundimientos e inundaciones. Los hundimientos son de hasta 40 cm/año en el centro de la planicie de Chalco, donde el espesor de los sedimentos lacustres es de 300 m, y se estima que para el 2015 serán de un total de 15 m; esto con base en modelos numéricos de predicción de la deformación vertical del terreno, en mediciones de parámetros hidráulicos y de mecánica de suelos, tanto del acuífero como de los sedimentos lacustres (Ortega *et al.*, 1993; Ortega *et al.*, 1999).

Desafortunadamente las zonas aledañas a los humedales de Xochimilco y Tláhuac han experimentado un acelerado proceso de crecimiento poblacional. Buena parte de esta se ha asentado en forma irregular, frecuentemente a un ritmo más rápido que el proceso de dotación de servicios urbanos. Este explosivo crecimiento demográfico irregular se presenta asociado a procesos dañinos al medio, entre los que figura la descarga de aguas negras o residuales, la creación clandestina de basureros, de depósitos de cascajo, entre otros.

La expansión de asentamientos irregulares es un fenómeno que agrava la problemática generada por hundimientos e inundaciones, dos tipos de fenómenos generadores de riesgos. Estos fenómenos están fuertemente vinculados, ya que como resultado de la extracción del agua del subsuelo, se generan depresiones topográficas o hundimientos en los que se acumula el agua superficial. La situación de peligro por inundaciones, pueden dar lugar a desastres potenciales, donde la vida y la propiedad de los habitantes de estas zonas se ven severamente amenazados. La figura 3 a) muestra los asentamientos humanos irregulares en ambas delegaciones, la figura 3 b) y 3 c) son un acercamiento a las delegaciones Xochimilco y Tláhuac, respectivamente.

Fig. 3: Asentamientos humanos irregulares, los polígonos color amarillo representan los asentamientos irregulares, el polígono azul representa el área que ocupaba el lago original y el polígono rojo son los límites delegacionales.



ACCIONES DE PRESERVACIÓN DE LOS HUMEDALES

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los últimos cuerpos de agua remanentes de los ecosistemas lacustres que temporalmente se fusionaban (Xochimilco, Chalco, Xaltocan, Zumpango y Tenochtitlán con el lago de Texcoco), se encuentra inmerso en la zona chinampera de Xochimilco y parte de Tláhuac. La figura 4 muestra tres imágenes que forman parte de los humedales hoy en día en la zona de Xochimilco.

Fig. 4: Vista actual de los humedales de Xochimilco, lado izquierdo y derecho arriba vista de uno de los canales principales, la imagen de la derecha abajo es la imagen de una chinampa que aún produce.



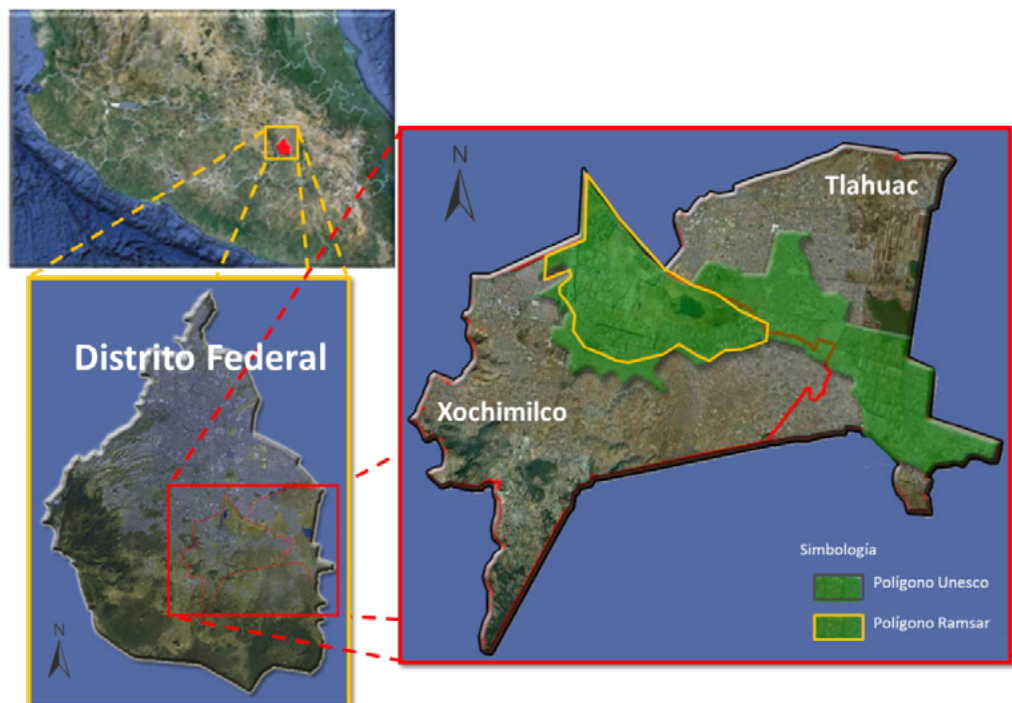
Decretos e instrumentos

Los decretos y otros instrumentos jurídicos constituyen una expresión importante del esfuerzo hecho a nivel local, nacional e internacional para preservar los humedales. La figura 5 muestra el área de estudio, donde se puede observar el polígono decretado como Zona Prioritaria de Preservación y Conservación del Equilibrio Ecológico, declarada Área Natural Protegida (ANP), bajo la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" de acuerdo al decreto presidencial de 1992, misma que la Convención Internacional sobre Humedales Ramsar inscribió en la Lista de Humedales de Importancia Internacional en 2004 (GDF, 2004).

En esta misma figura se observa el polígono decretado por la UNESCO en 1987, el cual engloba en una misma poligonal dos sistemas naturales frágiles conectados ecológica y culturalmente. Este decreto abarca una superficie de 89.63 km², en las Delegaciones de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, como Zona de Monumentos Históricos. El lago de Xochimilco se decretó por ser un sitio de interés histórico, de grandes avances técnicos, sociales y económicos como la chinampa y por la importancia de sus recursos acuíferos que han suministrado agua a la Ciudad de México (GDF, 2004).

Cabe mencionar que la UNESCO inscribió a Xochimilco en la lista de Patrimonio Mundial Cultural y Natural por su valor excepcional y universal, que debe ser protegido para beneficio de la humanidad. Este reconocimiento incluye el sistema de chinampas de Xochimilco desarrollado por las culturas prehispánicas que aún se conserva en las zonas de Xochimilco y Tláhuac, al sur de la Ciudad de México (GDF, 2004).

Fig. 5: Área de estudio



En 1989, el Departamento del Distrito Federal hizo público el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco, con la intención de revertir la degradación ecológica propiciada por la explotación de los mantos acuíferos, incentivar la producción agrícola y contribuir a la ampliación de espacios verdes y recreativos. Cabe resaltar que en este decreto se expropia por causa de utilidad pública una superficie de 780 ha de tierras del ejido de Xochimilco y 257.40 ha al ejido San Gregorio Atlapulco para destinarlas al rescate ecológico de la zona (GDF, 2004).

En 1992 se establece como Zona Prioritaria de Preservación y Conservación del Equilibrio Ecológico y se declara como ANP, bajo la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco", una superficie de 2,657 ha, como zona que requiere la protección, conservación, mejoramiento, preservación y restauración de sus condiciones ambientales (GDF, 2004). En el 2004 se acuerda con el Gobierno del Distrito Federal (GDF), el Programa de Manejo del ANP bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica denominada "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco". Es importante destacar que estas acciones solo han

sido decretadas para la zona de Xochimilco, dejando fuera a los humedales de Tláhuac, lo que hace que incrementen las amenazas para este sistema, como la presión por urbanización, ya que colinda con Valle de Chalco Solidaridad, en el Estado de México, así como el impacto generado por asentamientos humanos irregulares, entre otros.

Servicios Ambientales

Los ecosistemas, especies y genes; expresiones de la biodiversidad en todos sus niveles, son los principales abastecedores de bienes y servicios para la sociedad. Estos se traducen en productos y otro tipo de beneficios, los cuales provienen de los ecosistemas por medio de los llamados servicios ambientales o servicios ecosistémicos. Boyd y Banzhaf (2006) los definen como los componentes de la naturaleza disfrutados directamente, consumidos o utilizados para generar bienestar humano.

Se considera que la biodiversidad se presenta en tres niveles distintos (genes, especies y ecosistema) y de acuerdo con Figueroa (2011) cada uno de estos provee una serie de funciones y servicios que son importantes por dos razones. Una es ecológica: Los ecosistemas mantienen el equilibrio de funciones vitales para la vida de las especies, incluyendo al ser humano. La otra es económica, o más ampliamente socioeconómica, por el sostén que esta brinda en términos de materia primas para procesos de producción o bienes para el consumo y servicios ambientales (Barrantes, 2001).

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS QUE BRINDAN LOS HUMEDALES DE XOCHIMILCO-TLÁHUAC

Los humedales son cuna de diversidad biológica debido a su posibilidad de purificar, suministrar agua y proporcionar las condiciones para el desarrollo de la productividad primaria de la cual innumerables especies de plantas y animales dependen para la supervivencia. En general, los humedales adquieren cada vez mayor importancia, dado que se consideran fundamentales para resistir mejor las nuevas condiciones climáticas, aunado a los servicios ambientales que proporcionan. Es importante mencionar que pese a todas las modificaciones e impactos negativos que los humedales del DF han sufrido a lo largo del tiempo, aún brindan servicios ambientales de gran relevancia a escala local y global.

Control de inundaciones

Uno de los servicios ambientales más importantes de los humedales es el del control de inundaciones y las crecidas de los ríos. De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, por un lado las inundaciones constituyen un fenómeno natural importante para mantener el funcionamiento ecológico de los humedales (como transportadores naturales de materiales y nutrientes disueltos o en suspensión hacia los humedales), y para mantener en funcionamiento muchos de los servicios que proveen a millones de personas, particularmente a aquellas cuyos medios de subsistencia dependen de las llanuras de inundación utilizadas para la agricultura, el pastoreo y la producción pesquera (MEA, 2005).

Para el caso de la zona de estudio, las principales zonas encargadas del control de inundaciones se localizan en el ANP "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco", específicamente en: la Ciénega Chica y la Ciénega Grande. Estas son lagunas de

regulación artificiales cuya función es el control del agua y evitar inundaciones (GDF, 2006). La Ciénega Chica tiene una extensión 83.3 y regula los escurrimientos del sur de la cabecera delegacional y del Río San Buena Ventura, además de aliviar indirectamente el sistema de drenaje del colector Miramontes; la Ciénega Grande con 196.6 ha recolecta de manera temporal las aguas pluviales y residuales de los Canales de Chalco y Nacional (Canabal, 1997). Existen otras zonas que coadyuvan al control de inundaciones, p. e. el Parque Ecológico de Xochimilco (PEX), el cual tiene una superficie de 215 ha, divididas en cuerpos de agua, lagos, ciénegas y canales, el Lago de Conservación y otras lagunas (Tlilac, del Toro, Huetzalin, Apampilco y Tezhuilo), así como los canales.

Recarga de Acuífero

Otra función ecológica relevante de los humedales es la recarga de acuíferos del subsuelo. El acuífero de la zona sur del Valle de México ha sido dividido en tres subsistemas de acuerdo con su ubicación y tipo de rocas que lo conforman: 1) Zona Metropolitana, incluyendo Xochimilco, 2) Valle de Chalco y 3) Ex Lago de Texcoco (DDF, 1992). Esta zona a su vez se encuentra en la subcuenca Xochimilco-Chalco perteneciente a la Cuenca de México, la cual se encuentra dividida en tres zonas hidrológicas principales: la zona lacustre, el piedemonte o zona de transición y la zona montañosa. En primer lugar se encuentra la zona lacustre (que corresponde a las elevaciones de menor altura) que abarca la mayor parte del territorio del ANP, ubicada principalmente en la zona centro y norte de esta. Por otro lado, de acuerdo con el Instituto de Ecología (INECOL) (2002), la zona de influencia está en la porción sur del ANP y la zona de Tláhuac se considera como región piedemonte, importante para la recarga natural del acuífero (NRC, *et al.*, 1995: cap. 3), la cual se encuentra por lo general entre el lecho de los antiguos lagos y las montañas de mayor pendiente.

El piedemonte, está compuesto en gran medida por basalto fracturado de flujos volcánicos. Esta formación es altamente permeable, con una buena capacidad de almacenamiento y es considerada como el componente principal del acuífero en explotación. Esto se presenta principalmente en las proximidades de la zona chinampera. En esta última los suelos son de tipo aluvial, a lo largo de una franja que corre de Este a Oeste sobre el límite sur del Sistema, se componen de grava y arenas gruesas intercaladas con arcillas y pequeñas coladas de basalto, localizados sobre todo al sur del poblado de Santa Cruz Acalpixca (INECOL, 2002).

El INECOL (2002), estima que la recarga por infiltración en la zona de canales es de 6700 l/s en las áreas de canales; sin embargo, del acuífero de Xochimilco y Tláhuac se extrae un caudal 14300 l/s, cantidad que representa el doble del que se recarga, por lo que se considera un proceso de sobreexplotación (INECOL, 2002).

A pesar de dicha sobreexplotación Martínez-Santoyo (2006) menciona que del total del volumen de lluvia que cae sobre la cuenca, el escurrimiento mensual oscila entre el 8.4% y el 1.15%, lo que significa que entre el 99% y el 92% del volumen de agua que llueve se infiltra o se almacena en los propios cuerpos de agua. Por lo tanto el área de estudio está generando indirectamente un beneficio más a la sociedad, ya que la cuenca resulta tener una gran permeabilidad, permitiendo así la recarga del acuífero.

Descarga de acuíferos

La descarga de acuíferos está relacionada directamente con la recarga, por consiguiente es posible decir que la descarga depende de la recarga. Esto se debe a que la descarga es el resultado de niveles altos de recarga, ya que se considera que la descarga de acuíferos es aquella que permite que el agua subterránea salga o brote de forma natural en distintas clases de surgencias en las laderas en forma de manantiales, ríos y otras formaciones.

En el contexto de los humedales, la función de descarga se produce cuando el nivel freático del terreno adyacente es superior al nivel del agua del humedal, de modo que se produce un flujo subterráneo del terreno adyacente hacia el humedal. El beneficio ecológico de esta función es drenar el exceso de agua del suelo manteniendo el equilibrio de aire y agua de modo que los macroporos sean una fuente adecuada de oxígeno de las raíces de la vegetación (Sención, 2002). Este proceso, a su vez, genera un beneficio social ya que diversas comunidades dependen de distintas maneras de la vegetación del humedal: para consumo, comercio o para la protección de inundaciones. Por otro lado la descarga de acuífero en un humedal, es muy importante porque representa la principal fuente de consumo de agua para comunidades adyacentes a estos.

Debido a la constante sobreexplotación del acuífero, los manantiales comenzaron a disminuir hasta que, según Peña (1978: 99), la Comisión Hidrológica del Valle de México declaró a principios de los 1960 que *“los manantiales de Xochimilco ya no pueden ser considerados como tales, en virtud de que el nivel de las aguas fue abatido por debajo del terreno donde afloraban”*. Únicamente el manantial de Nativitas se mantendría en explotación hasta 1975, que fue el año en que se secó por completo (Romero, 1993). Pese a esta situación para 1982 el Departamento del Distrito Federal contaba ya con 122 pozos que suplirían a los manantiales, estos pozos producían un caudal de 7,700 l/s (Rojas, 1995).

En la actualidad, la extracción de agua en la Delegación Xochimilco se produce mediante 77 pozos con una profundidad promedio entre 200 y 400 m. El volumen de agua que se extrae del acuífero por medio de dichos pozos es de 3,200 l/s, estos se distribuyen en la delegación Xochimilco (1000 l/s), los demás se envían a las delegaciones: Iztapalapa, Benito Juárez, Coyoacán, Tlalpan, Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc (Espinosa y Mazari, 2008).

El origen del lago de Xochimilco y sus canales proviene en gran medida de sus manantiales debido a que esta zona es el resultado, principalmente, de la descarga de aguas subterráneas a través de flujos locales (manantiales) e intermedios (carga hidráulica ascendente). El agua subterránea recorre cierta distancia desde la zona de captación de lluvia, la llamada zona de recarga, hasta su descarga en la zona lacustre; el agua infiltrada satura las capas superiores hasta encontrarse con capas impermeables, propiciando que esta fluya hacia las partes bajas y alcance la superficie en forma de manantiales, los cuales, a su vez, alimentan los lagos de la planicie. Esta situación dio origen a la zona de canales (INECOL, 2002).

Los principales sistemas hídricos de la región son superficiales y subterráneos. Los sistemas superficiales, los cuales son la principal aportación de descarga de acuífero, se componen de manantiales que fueron entubados desde principios del siglo

XX. También la oferta hídrica incluye ríos (temporales) provenientes de las montañas y el agua de los canales (lago) que en su mayoría se trata de agua de reúso (SACM, 2000). Al respecto Martínez-Santoyo (2006) menciona que se destina mensualmente un promedio de 1,268,400 m³ de agua tratada, lo que representa el 50% de capacidad de almacenamiento del sistema lagunar.

Exportación de biomasa

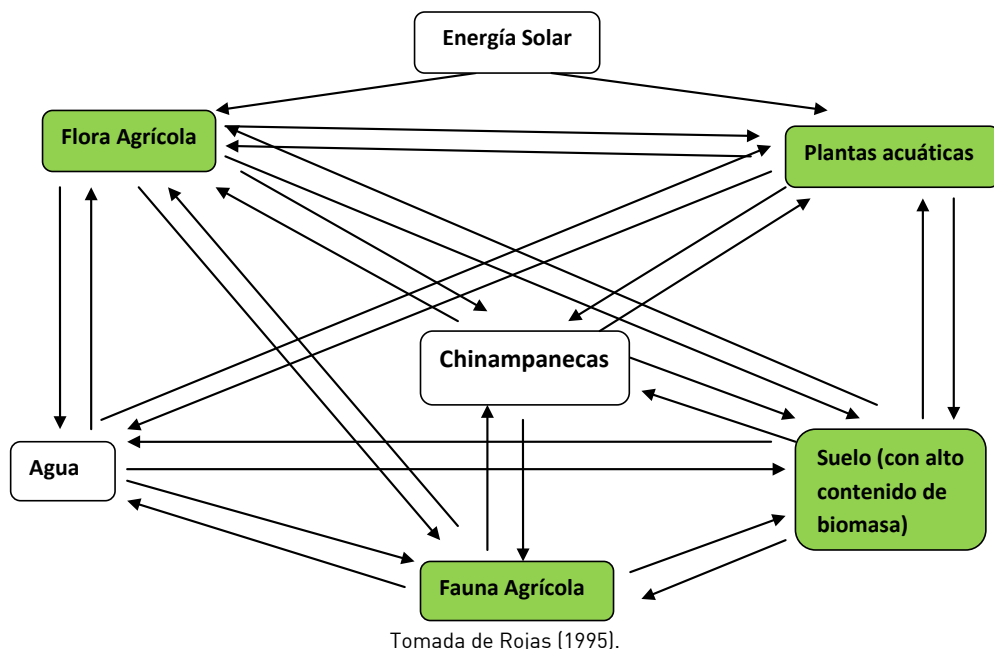
Antes de iniciar con la caracterización de este servicio es importante mencionar que existen dos percepciones distintas del concepto de biomasa, de acuerdo con las definiciones de la Real Academia Española. La primera, parte desde la concepción de la Ecología: "Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen" y la segunda la cual es más restringida, se refiere a la biomasa útil en términos energéticos: "Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía".

En este estudio se utilizó el segundo concepto, el cual se refiere a la biomasa útil para el hombre en términos energéticos que generan las funciones ecológicas de un ecosistema. Cabe resaltar que a pesar de que la literatura se refiere exclusivamente a "biomasa útil" como la recuperación de la energía química de la biomasa transformada en combustible de las cuales destacan las energías renovables como el biodiesel, en este estudio se considera también el alimento como energía, en este caso, de manera directa para la supervivencia humana, la cual se deriva de los diferentes estados de la biomasa (flora y fauna) exportados del ecosistema al sistema socioeconómico.

Aunado a lo anterior, es posible considerar como fuente de exportación de biomasa a la chinampa, el cual es un método prehispánico de agricultura que aún prevalece en la zona, considerado un agroecosistema, de acuerdo con la definición propuesta por Bautista y Sommer (1995) la chinampa representa la utilización integrada de los sistemas acuático y terrestre, que es manejado de manera tal que se conservan los atributos similares a un sistema natural. De acuerdo con Rojas (1995), la chinampa es un sistema integral de producción agropecuaria y forestal, en el que se incluye la pesca en los canales, la siembra de árboles en la orilla de las parcelas, la ganadería estabulada alimentada con malezas y restos de cultivo. Al ser consideradas un ecosistema (agroecosistema) los beneficios, como la producción de alimentos, derivados de este pueden ser considerados servicios ecosistémicos.

Pozo (2010) menciona que hasta hace poco los chinamperos aprovechaban la abundante vida acuática: peces, ranas, tortugas y pequeños crustáceos para consumo propio. Las aves de corral, cerdos y ganado vacuno que crían en sus poblados podían ser alimentados con los desperdicios y malezas de las chinampas; el estiércol y otros desechos que producían, a su vez, los usaban como fertilizante. Estudios recientes han calculado que una chinampa de Xochimilco es cinco veces y media más productiva por unidad de superficie, que una tierra de temporal (Martínez, 2004). Cabe resaltar que un estudio realizado por López y otros autores (2006) indican que en promedio el ingreso per cápita anual de un productor chinampero de Xochimilco es de 53,512 pesos mexicanos, aproximadamente 3,023.97 euros, y la relación costo-beneficio de una chinampa es de 2.44, lo cual indica que este método es altamente rentable.

Fig. 6: Subsistema del agroecosistema chinampero. Los chinampanecas –palabra utilizada para denominar a la gente que conoce y trabaja la técnica de la chinampa⁵–, funcionan como controladores del sistema.



La figura 6, muestra los elementos principales del sistema de la chinampa, los cuales se consideran componentes interdependientes y la eficacia del sistema depende de las interacciones de estos. Alguna modificación de alguno de estos afecta a todo el sistema. También se observa que de los siete componentes básicos, cuatro están relacionados directamente con la biomasa: flora agrícola, plantas acuáticas, fauna agrícola y suelos (representados en color verde). En este sentido es muy importante la producción de biomasa, ya que las altas tasas de acumulación en el suelo, entre otros factores generan un activo de nutrientes en el suelo (Merlín, 2009). La materia orgánica (biomasa) que se genera en este ecosistema, constituye entonces un servicio ecosistémico importante para la economía de la región. Por lo tanto, la agricultura (ya sea con el método tradicional de chinampa o con la implementación de invernaderos) representa una importante fuente ingresos y en el caso particular de los chinamperos un eslabón cultural con nuestros antepasados.

Oportunidades para la Recreación/Turismo

Por la belleza de sus paisajes Xochimilco ha sido un lugar de recreo, visitado por gente de todo el país, así como por una gran cantidad de turistas del extranjero. Muchos llegan atraídos por la imagen –postal clásica de la oferta visual de la Ciudad de

⁵ Diccionario Náhuatl, disponible en: <http://whp.uoregon.edu/dictionaries/nahuatl/index.lasso?&dowhat=-FindJustOne&theReclD=1659369&theWord=chinampaneca>

México– que muestra a Xochimilco en carteles y guías turísticas publicadas en diversos idiomas (Garzón, 2002).

Las crónicas de épocas anteriores señalan a esta zona como uno de los sitios predilectos de la gente de la ciudad. Que, principalmente para los extranjeros, era una idealización de un ambiente rural que rodeaba una ciudad con un crecimiento demográfico acelerado, conectados por un tranvía. La urbe simbolizaba la modernidad y Xochimilco representaba la tradición, con sus canales, chinampas, flores, trajineras y un fondo majestuoso con volcanes nevados (Caraballo y Leal, 2006).

Como se indicó, la zona de estudio fue considerada parte del Patrimonio de la Humanidad de Xochimilco en 1987, posteriormente se decretó Área Natural Protegida, en 1992 y es sitio Ramsar desde 2004. Estas condiciones, irónicamente consideradas para su protección, han generado mayor presión sobre la zona, aunque es importante tener en cuenta que el turismo bien planificado puede coadyuvar a conservar sitios con características como la del ANP de estudio.

En Xochimilco, la principal actividad es el paseo en trajinera, que es un tipo de embarcación que en primera instancia se utilizó como medio de transporte y para el acarreo de mercancías desde la época prehispánica. Actualmente se utilizan básicamente como actividad recreacional y en mucho menor medida como transporte. Estas tienen capacidad de llevar desde diez, hasta treinta personas y se caracterizan por tener un arco de flores en la parte frontal con un nombre femenino. Esta actividad aún es posible gracias a los relictos que quedan en forma de canales del lago de Xochimilco.

Uno de los servicios con potencial para convertirse en uno de los más importantes, es la contemplación de aves migratorias. Actualmente esta actividad es poco aprovechada por el turismo. De acuerdo con Espinosa y Mazari (2008), a pesar de que el sistema se encuentra dentro de una megalópolis, cada año llega una gran cantidad de aves migratorias. Por ejemplo, en los últimos años se han registrado 800 individuos de pelícano blanco.

Reservorio de Biodiversidad

La zona chinampera de Xochimilco (la cual se encuentra en el ANP), se ubica dentro del Eje Neovolcánico Trasversal, una de las zonas de importancia nacional porque alberga una gran biodiversidad, incluyendo centros de endemismo y riqueza de especies (Romero y Velázquez, 1999). De acuerdo con el Programa de Manejo del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” realizado por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMADF) aceptado en el 2006, las especies que se encuentran solamente dentro del ANP son las siguientes: Flora, con 180 registros de especies, distribuidas en 135 géneros y 63 familias (NOM-059-SEMARNAT, 2001), cuatro especies se encuentran en alguna categoría de riesgo: ninfa (*Nymphaea mexicana*) y colorín (*Erithrina coralloides*), que se encuentran Amenazadas; cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), sujeta a Protección Especial; y, acezintle (*Acer negundo var. mexicanum*) especie endémica Sujeta a Protección Especial. En la zona se presentan 27 (4%) de las 689 especies reportadas para la Cuenca de México con alguna importancia especial (Rzedowski, 1993), ya sea porque se consideran raras, vulnerables o aparentemente extintas, entre las que destacan la ninfa (*Nymphaea odorata* Ait. ssp.

Odorata) y el chilacastle (*Spirodela polyrrhiza*), aparentemente extintas; y el chichicastle o lentejilla de agua (*Lemna valdiviana*), considerada como rara. A partir de los trabajos realizados por el INECOL (2002), se obtuvo un registro de 139 especies de vertebrados para el Área Natural Protegida: 21 de peces, 6 de anfibios, 10 de reptiles, 79 de aves y 23 de mamíferos. De estas, 11 se encuentran enlistadas dentro de alguna categoría de protección de acuerdo a la NOM- 059-SEMARNAT-2001.

Fig. 7: *Ambystoma mexicanum* (Ajolote).



Foto tomada por Miguel Ángel Sicilia,
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO.

Otra singularidad de la fauna de la zona, es el mítico anfibio llamado por nuestros antepasados “axolotl” (monstro o perro de agua) mejor conocido como “ajolote” (anfibio del orden Caudata) (Figura 7); este organismo se encuentra sujeto a protección especial y es el icono del lugar.⁶

Actualmente existen diversas instancias haciendo un gran esfuerzo por preservar esta especie, desde organizaciones internacionales como la fundación Darwin de la Gran Bretaña, hasta las nacionales como el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC) perteneciente a la Universidad Autónoma

⁶ El ajolote es endémico del Valle de México y solo se puede encontrar en los canales de Xochimilco y Tláhuac. Una de las características por las cuales se considera un organismo sujeto a investigación de gran importancia, es su capacidad de regeneración, lo cual significa que al perder algún miembro o parte de su cuerpo este puede comenzar a desarrollarla nuevamente, inclusive las células cerebrales, así como células cardíacas, por lo que su estudio es muy importante en cuestiones de biomédica, ya que puede llegar a curar, por ejemplo, la enfermedad de Alzheimer, entre otras (CIBAC, 2010). Por otro lado este organismo contiene una fuerte carga cultural desde épocas prehispánicas. La mitología Azteca describe al animal que se dice haber nacido cuando el dios Azteca, Xolotl, temiendo su inminente sacrificio, se arrojó al agua y fue transformado en la criatura que vemos hoy en día (Iniciativa Darwin, 2004).

Metropolitana (UAM), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Esta última realiza en la actualidad un censo poblacional del ajolote en los canales de Xochimilco e informan que transcurrido ya la mitad del censo no se ha encontrado un solo ajolote (La Jornada, 2014).

En cuanto a las aves, la zona constituye uno de los sitios más importantes dentro del Distrito Federal para el refugio de especies de aves locales y migratorias, principalmente acuáticas, con un probable registro hasta de 193 especies (Meléndez, 2005). En el ANP arriban noventa especies migratorias, principalmente en la época invernal. Se calcula que cerca del 40% de las especies depende de estos ambientes acuáticos. Por otro lado, las chinampas con sus arbolados particulares favorecen a 112 especies de hábitos terrestres (Meléndez y Romero, 2009).

Servicio Cultural

Hablar de Xochimilco nos remite inmediatamente a pensar en tradiciones, mitos, leyendas, fiestas y una serie de atributos culturales. Basta mencionar que Xochimilco, junto con el Centro de la Ciudad de México, tiene el estatus de Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). Es importante mencionar que la UNESCO hasta antes de 1992 concebía solo dos categorías en la Lista de Patrimonio de la Humanidad; una era el patrimonio cultural y la otra el patrimonio natural. Méndez (2005) menciona que Xochimilco es en realidad un paisaje cultural (Pozo, 2010, Shulze, 2006 y Carballo, 2006) complejo, ya que está formado por un excepcional ecosistema social y ambiental que integra chinampas, canales y una particular actividad agrícola lacustre, completada con un amplio catálogo de bienes monumentales, arqueológicos y tradiciones culturales que se viene desarrollando desde hace más de once siglos, dando origen y sustento temporal a múltiples asentamientos humanos. Se trata del remanente del paisaje lacustre transformado por la cultura prehispánica que predominó en la Cuenca de México hasta la conquista española, el cual logró mantenerse en forma sustentable hasta la segunda mitad del siglo XX.

Además de todos estos atributos mencionados en la Lista de la UNESCO, se encuentran otras características asociadas al ANP por las cuales el servicio cultural que genera el lugar es de suma importancia. Una de estas son las tradicionales fiestas y eventos que están vinculados directamente con el ciclo agrícola y por ende con el humedal, que comprenden de más de 400 fiestas anuales que se realizan en los 18 barrios y 14 pueblos (Carballo *et al.*, 2006). Aunado a estas festividades existe una inmensa cantidad de mitos, leyendas y relatos asociados al humedal.

En cuanto al estudio y registro arqueológico existe una gran cantidad de hallazgos. De acuerdo con el (GDF, 2006) como resultado de un estudio realizado en el ANP en 1992, por la UNAM y el INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia), existen registros de vestigios culturales de gran interés. El Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas del INAH menciona oficialmente 6 sitios arqueológicos dentro y en la zona adyacente al polígono del ANP los cuales se ubican desde la zona de Tulyehualco y San Luis Tlaxialtemalco, al sureste; en San Gregorio Atlapulco, desde el límite sur del sitio "Nuevo Japón", hasta el canal de San Sebastián, y en la laguna de regulación Ciénega Chica.

Sin embargo, se calcula que en el ANP existen hasta 41 sitios arqueológicos, compuestos por montículos con una altura no mayor a 1.50 metros y 20 metros de radio, esto en los Ejidos de Xochimilco, desde la Ciénega Grande hasta el vivero Nezahualcōyotl. Algunos asentamientos tienen una antigüedad aproximada de 3,000 años, entre ellos se han descubierto chinampas fósiles y diversos materiales culturales, como pisos estucados, muros de piedra, cerámica, sílex y hueso (Parsons, 1982 y Ávila, 1995).

PROPUESTA PARA EL ARTEFACTO GEOMÁTICO A DESARROLLAR

Artefacto Geomático

Los artefactos geomáticos son resultado de la guía conceptual en el diseño en implementación del modelaje en Cibercartografía, definida como la organización, presentación, análisis y comunicación de toda la información que tiene y se genera sobre un espacio, respecto de una gran variedad de temas de interés para la sociedad. El término Cibercartografía, fue acuñado en 1997 por el Dr. Fraser Taylor, en la 18th International Cartographic Conference in Stockholm Sweden, "Maps and Mapping in the Information Era" (Taylor, 2005). Es importante mencionar brevemente esta disciplina, debido a que es la base del modelado de los artefactos geomáticos, ya que contempla aspectos importantes como la multisensorialidad, la multimodalidad, la interactividad, la interdisciplinariedad, la relación con los usuarios, las nuevas formas de trabajo de los cartógrafos y la creación de nuevas sociedades de investigación entre académicos, gobiernos, la sociedad civil y el sector privado (Taylor, 2005).

Así pues, los artefactos geomáticos son modelos de las diversas expresiones en el espacio geográfico, que capturan y comunican las dimensiones socio-económicas, políticas y culturales que convergen en el territorio; asimismo, brindan una visión territorial y holística de las dinámicas y tensiones del desarrollo regional. El artefacto es visto como un actor insertado en los procesos de consenso y gestión geoespacial (Reyes, 2005). Puede convertirse en impulsor de nuevas sinergias entre los usuarios, ya que pretende conocer los requerimientos de los actores claves consultados y articularlos en forma de necesidades y problemas, y así vincularlos en una solución estratégica, para que apoye en la toma de decisiones.

Este tipo de artefactos permiten organizar las necesidades hacia los requerimientos de los usuarios potenciales de forma dinámica e integral, además posibilitan articular un enfoque hacia una estrategia consistente en incidir en los procesos de cambio para evitar la afectación ambiental, presente o futura con la finalidad de conservar y recuperar la funcionalidad de los ecosistemas como los humedales a través de información con base científica, adecuadamente encapsulada, para dirigir la adecuada toma de decisiones.

Ecología del Paisaje

La Ecología del paisaje, con sus raíces en la ecología regional, es una disciplina que ha avanzado desde una etapa descriptiva hacia la comprensión de las relaciones entre la configuración espacial de los ecosistemas y su funcionamiento global. Esto es, tiene en cuenta no solo los flujos de materia, energía e información entre los componentes de un ecosistema, sino también entre los ecosistemas a través del paisaje

o la región. En otras palabras, la ecología del paisaje estudia las interacciones entre los aspectos temporales y espaciales del paisaje y sus componentes de flora, fauna, así como los aspectos sociales y culturales. Este enfoque se centra principalmente en las relaciones espaciales entre elementos del paisaje o ecosistemas; en los flujos de energía que en ellos existe y en la dinámica ecológica del mosaico paisajístico a lo largo del tiempo (Forman, 1983).

De esta forma, esta disciplina estudia los paisajes naturales prestando especial atención a los grupos humanos como agentes transformadores de la dinámica físico-ecológica de estos. La estructura se refiere a la organización espacial de los elementos o usos del territorio. La función es el movimiento o flujo de materias como el agua o de otros elementos como fauna o personas a través de la estructura; y el cambio es la dinámica o transformación del territorio (visualizado como un sistema) a lo largo del tiempo. El análisis en conjunto de estos 3 elementos servirá de base para precisar los impactos internos y externos que se suceden en el humedal, valorar el pasado, analizar el presente y planear el futuro que deriva en soluciones para la conservación de estas áreas. Es así como resulta un marco de análisis útil para predecir y analizar los procesos de cambio en los humedales. Con este conocimiento es posible modelar el espacio para establecer planes y programas que permitan potenciar aquellos servicios ecosistémicos que el sistema ecológico brinda a la sociedad.

Hidrología

Es bien sabido que la hidrología juega un papel fundamental en la conservación de humedales debido al rol que juegan en el ciclo hidrológico (Bullock y Acreman, 2003), un indicador importante es entonces el balance de agua de un humedal, el cual vincula los aportes de agua subterránea, el escurrimiento, la precipitación y las fuerzas físicas (viento) con las pérdidas por drenaje, recarga, evaporación y transpiración (LaBaugh *et al.*, 1998), la flora y fauna responden a los cambios hidrológicos a través del tiempo (LaBaugh *et al.*, 1998). Cabe destacar que las aguas que fluyen desde los humedales son químicamente distintas de las que fluyen hacia ellos, debido a una gran variedad de reacciones físicas y químicas tienen lugar a medida que el agua atraviesa materiales orgánicos, tales como turba, lo que provoca que ciertos elementos (por ejemplo los metales pesados) sean retenidos y otros (como los compuestos orgánicos disueltos, ácidos húmicos) sean movilizados, es por esta razón que los humedales son denominados purificadores de agua (Zedler y Kercher, 2005).

Pago por Servicios Ambientales

Rosa y otros autores (2004), señalan que en México se encuentran condiciones favorables para el desarrollo de iniciativas que busquen valorar los servicios ambientales y beneficien a las comunidades rurales incluyendo la estrategia de conservación conocida como pagos por servicios ambientales (PSA). Cabe resaltar que a pesar de que la zona de estudio se encuentra dentro de la zona metropolitana, las condiciones de la población inmersa en la zona, pueden considerarse como rurales. Respecto al PSA, los mismos autores mencionan como un gran potencial en el país: la captura del carbono, servicios derivados de la diversidad genética, los grandes escenarios o atractivos naturales y el servicio ambiental hídrico. Estos servicios son prestados en

buena medida en el área de estudio. Cabe destacar que en la actualidad no se tienen estudios concretos para cuantificar estos procesos, sin embargo derivado de una amplia investigación bibliográfica, los párrafos siguientes se abordan las funciones ecológicas y los servicios ambientales específicos que se generan en el área de estudio con la finalidad de resaltar su importancia vía el artefacto propuesto.

De acuerdo a lo descrito a lo largo de este estudio, la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, ha estado sujeta a diversos procesos de cambio que han generado afectaciones en sus condiciones ambientales y socioeconómicas, mismas que se representan en una amplia red de efectos en cadena. En lo ambiental, este proceso se ha manifestado como una reducción significativa del lago, originada por la extracción de agua potable del subsuelo con el consiguiente hundimiento regional. En lo socioeconómico, la agricultura en Chinampas, que ha sido una tradición a lo largo de muchas generaciones, tiende a desaparecer. Se observa factores agravantes de la problemática tales como ausencia de políticas que estimulen la preservación del lugar, así como cambio de uso de suelo, originado en primer lugar por el crecimiento de la mancha urbana que se extiende sobre los terrenos que ocupara el lago y que se ve favorecido por la reciente construcción de la línea 12 del metro. Este es un factor que produce afectaciones negativas, como la disminución de la calidad paisajística de la zona y mayores posibilidades de contaminación del suelo y cuerpos de agua

Resulta fundamental la necesidad de cambiar el paradigma de conservación y determinar un propósito de lo que se intenta modificar. Esto debe ser en función a la problemática observada que se puede sintetizar como: "la pérdida del último reservorio de humedales dentro de un entorno urbanizado". Con base a esta premisa el estudio y análisis de estos ecosistemas necesita ser abordado de forma transdisciplinaria en ciencias naturales, exactas y sociales. Es importante partir de la complejidad de los ecosistemas con todos sus procesos de orden físico, biológico, social y tecnológico, mismos que conformarán un sistema que tiende a fomentar la capacidad de comprensión y acción a partir de los paradigmas del conocimiento (Leff, 2008: 199). Una ciencia transversal como la Geomática, permite abordar desde la realidad espacio-temporal las relaciones sistémicas de los ecosistemas por medio de la información geográfica y el análisis espacial.

En este estudio, los autores proponen el diseño de un artefacto geomático dirigido a la conservación y recuperación de humedales. Las disciplinas científicas Hidrología y Ecología del Paisaje son la base para el diseño de este artefacto ya que brindan una base sólida de en lo que a humedales se refiere. La figura ilustra el marco teórico a través de la integración mediante el agua de ambas disciplinas. Esta es considerada para este estudio como eje atractor integrador; debido a que este recurso constituye un componente base en la dinámica funcional del espacio geográfico en este tipo de ecosistemas y por ser un elemento con diversas funciones. Se trata de un factor fundamental para la interacción entre elementos bióticos y abióticos tales como disponibilidad de agua, salud, economía local, disponibilidad de áreas verdes, etc. Así mismo, funge como factor de desarrollo humano, urbano, de ordenamiento del territorio y como factor de rescate de humedales.

Dada la complejidad para abordar la problemática de estos sistemas y la importancia de visibilizar su importancia, se plantea la creación de áreas específicas de

análisis. Para tal fin en este estudio se considera al área de captación pluvial (AC, definidas como cuencas de tamaño promedio elegido en concordancia con los objetivos del estudio particular y delimitadas de acuerdo al sistema de conectividad hidrológica superficial), como un sistema territorial integrado que permitirá entender las interrelaciones entre los recursos y condiciones naturales (agua-suelo-clima-vegetación), así como las formas en las cuales la sociedad se organiza para apropiarse de los mismos y su impacto en la dinámica de humedales. Es por esto que en primera instancia, se accede a conceptos provenientes de la Hidrología, como la ciencia que se encarga de estudiar todos los procesos que se llevan a cabo en el ciclo del agua, como el movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria, por demás importante en el estudio de humedales.

Por su parte, la Ecología del Paisaje, permitirá analizar el territorio zonificado por AC gracias a la definición de estructura, función y cambio (Troll, 2008), entendido desde el enfoque sistémico, como el análisis de los cambios de los componentes físicos tales como agua, aire, suelo, subsuelo y clima; los biológicos como flora y fauna, además de otros de tipo antropogénico como los socioeconómicos, culturales e institucionales (Hernández, 2004).

Fig. 8: Marco conceptual



La idea principal de este artefacto, consiste por un lado en determinar amenazas, problemas y necesidades prioritarios, tanto para el ecosistema como para la sociedad que habita en ellos y por el otro potenciar la importancia a partir de sus servicios

ambientales y su eventual pago, como principal elemento para su conservación, lograr propiciar su valoración en campo, así como una adecuada gestión integral. La relevancia del presente estudio consiste en producir un informe, en el cual se resalten las funciones ecológicas y los servicios ambientales específicos que se generan en el área de estudio, para identificar aquellos que tienen la posibilidad de entrar al sistema de pago por servicios ambientales y de esta manera poder insertarlos en el artefacto, con la finalidad de plantear métodos de valoración económica, de tal manera que este estudio ponga de manifiesto una investigación sólida que sirva como la primera plataforma para intentar implementar una nueva forma de conservar.

APUNTES FINALES

Los humedales de todo el mundo están siendo amenazados por una combinación de impactos naturales y antropogénicos. Aunque los impactos naturales son intensos, existen lapsos de tiempo intermedios que pueden contribuir a mantener la biodiversidad. Por el contrario los impactos humanos, pueden parecer no tan intensos, porque en realidad no son tan perceptibles a la vista; sin embargo son crónicos, desatan una serie de efectos negativos en cadena y no le dan oportunidad a los ecosistemas de recuperarse y mantener su función y estructura características. Es por esta razón que la búsqueda de mecanismos de difusión de conocimiento para la sociedad contemporánea y tomadores de decisiones, ha llevado a los autores a realizar esta propuesta metodológica, que intenta sentar bases para la recuperación y conservación de este lugar ancestral, con la finalidad de llevar a cabo acciones de preservación, en el último reservorio de agua en la segunda ciudad más grande del mundo.

Gracias al actual reconocimiento científico y el nivel de conciencia adquirido sobre los múltiples beneficios, tanto tangibles como intangibles, que brindan los humedales, es inadmisibles el reemplazo indiscriminado de estos ecosistemas para su aprovechamiento agrícola o inmobiliario, sin una adecuada evaluación de los impactos directos e indirectos, así como las externalidades que los acompañan.

Como se ha descrito en este documento, la gran cantidad de servicios ambientales que brinda la zona de estudio, son de enorme relevancia a la Ciudad de México. Para esta enorme ciudad, los humedales contribuyen a evitar desastres de grandes dimensiones, sin embargo las severas amenazas a los que se enfrenta este lugar, debido al avance de la mancha urbana, el uso excesivo de agua subterránea y por un manejo poco adecuado para fines de conservación y restauración; representa una enorme pérdida no solo desde el punto de vista ambiental sino también desde una visión de culturas y tradiciones. Para ilustrarlo, es posible afirmar que un manejo inadecuado del ecosistema, puede conducir a la desaparición de la zona de humedales correspondiente a las chinampas, lo que generaría una pérdida irreparable, no tan solo por los beneficios que brinda a la humanidad, sino también por la posibilidad de perder una serie de tradiciones antiquísimas de la cultura tradicional mexicana. Es importante destacar que uno de los objetivos del presente estudio es también generar una forma de crear conciencia a la sociedad sobre el valor de la zona chinampera, ya que la mayoría de la población en México no tiene el conocimiento de la importancia

de conservar estos ecosistemas, y mucho menos sobre los servicios ambientales que estos brindan a la sociedad.

Así bien, el análisis aquí descrito sobre la problemática y los beneficios de este complejo sistema, permitirá orientar la generación del artefacto geomático para la recuperación de Humedales en el Distrito Federal. El objetivo ulterior ante la generación de este marco conceptual, es la difusión de conocimiento que encauce la planificación para la preservación de humedales vía los servicios ambientales. El promover aquellos que tienen la posibilidad de entrar al sistema de pago por servicios ambientales de acuerdo con los programas vigentes en México y proponer métodos de valoración económica. El artefacto servirá como la primera plataforma para resaltar su importancia como una nueva forma de crear conciencia para conservar los humedales. Al mostrar ante la sociedad, como permiten a la población mejorar sus condiciones de vida, a través del uso adecuado para la venta de bienes y servicios ambientales provenientes, es posible atraer la atención e interés de la sociedad y mejorar el entorno de políticas y acciones públicas por parte de las autoridades competentes.

Es por lo anteriormente descrito, que las ciencias propuestas, constituyen un marco apropiado para el análisis de los impactos ambientales y sociales que se acontecen en el área de estudio, generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación (Cotler y Priego, 2007), en los humedales. Otra de las intenciones de esta propuesta es facilitar la negociación entre los tomadores de decisiones en los Humedales de Xochimilco-Tláhuac y sus usuarios potenciales. En ausencia de información y políticas ambientales bien estructuradas, se pueden definir a las últimas décadas como los escenarios en donde se han dado pérdidas severas en la resiliencia de los humedales para sostener la productividad de sus ecosistemas, proveer agua limpia o controlar inundaciones. Este deterioro ambiental se puede visualizar también en los sectores económicos de la sociedad en la ciudad de México. Ya que se puede facilitar el proceso de vincular los requerimientos de los diversos actores con sus necesidades y recursos presentes, así como hacer notorios los servicios ambientales que presta a la sociedad, no solo a la del área de estudio, sino a toda la ciudad de México y el mundo. De esta forma es posible sentar bases para generar una base de política pública y de acción social consensuada, que permita la emergencia de nuevo conocimiento y acciones de conducción entre los procesos naturales y sociales en dicho geoespacio. El artefacto permitirá generar concientización en la sociedad considerando la gran capacidad de comunicación sobre las problemáticas territoriales y sus posibles soluciones. Así se facilitará el lograr una fuerte y legitimada gestión, entendida como la forma de organizar y administrar los recursos para alcanzar el propósito consistente en la recuperación de los Humedales en un tiempo y espacio dado.

Este documento es la base para crear en un estudio posterior, el modelo piloto del artefacto geomático. La premisa es partir del conocimiento del medio ambiente, sobrepasando meramente lo físico y biótico, para involucrar además de lo social, lo económico y político como universos interactuantes en un modelo de gestión integrada. En este proceso el diseño del artefacto busca exponer las bases para lograr, con base al conocimiento científico, medidas adecuadas para el manejo sostenible de los humedales de Xochimilco y Tláhuac. La finalidad sería lograr una nueva cultura en la

que se construirán nuevos enfoques y nuevas estrategias de producción sostenible, sustentable, participativa y conservación consensuada de los recursos naturales, integrados en políticas públicas para una adecuada resolución de problemas. Con esto se contribuiría a lo que Kuhn (2006) llama, un cambio de paradigma aplicada a la gestión ambiental, con la finalidad de contribuir al país en su desarrollo mediante la conservación de sus bienes y servicios ambientales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al M.C. Alejandro Mohar y a la M.C. María Nájera por la invitación al proyecto "Evaluación de la Vulnerabilidad Ambiental que presenta el Suelo de Conservación por la Pérdida de Servicios Ecosistémicos a Consecuencia del Cambio de Uso de Suelo" financiado por la PAOT/DF. De este proyecto se derivó la investigación sobre la problemática de los humedales y su posible solución mediante el artefacto Geomático. Agradecemos las sugerencias, revisiones y el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- ARÉCHIGA-CÓRDOBA, E. (2004). "El desagüe del Valle de México, siglos XVI-XXI." *Revista de Arqueología Mexicana*, XII(68), 7.
- AVILA, R. 2995. *Informe de excavaciones arqueológicas en San Gregorio Atlapulco, Xochimilco*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).
- BAUTISTA, F y SOMMER, I. (1995). Análisis sobre los Sistemas de Producción Agrícola en la Zona de Chinampas de Xochimilco, D.F. En: *Primer Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco*. Tomo I. Asociación Internacional de Investigadores de Xochimilco A.C. México, D.F. 287-293.
- BARRANTES, G. (2001). *Capitalización y sostenibilidad de los activos naturales y sus servicios ambientales*. 156 pp. Heredia, Costa Rica.
- BURNS, E. (2009). *Repensar la cuenca. La gestión de ciclos del agua en el Valle de México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- BOYD y BANZHAF. (2006). What are ecosystem services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. Resources For the Future Discussion Paper 06-02. RFF, Washington D.C. 26 pp.
- CARABALLO, C. y LEAL, M. (2006). Patrimonio, Turismo y Actividades Productivas Sostenibles. Un Potencial por Activar. en: Caraballo, C. coords. *Xochimilco un Proceso de Gestión Participativa*. UNESCO. México. 293-301.
- CARBALLO, C., CERVANTES, M. y SCHULZE, N. (2006). El Centro Histórico y los Pueblos Lacustres: Xochimilco, un Espacio Social de Enorme Riqueza Cultural. en: Caraballo, C. coords. *Xochimilco un Proceso de Gestión Participativa*. UNESCO. México. 255-259.
- CIBAC, 2010. *Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC)*. [En línea] Available at: <http://coplada.xoc.uam.mx/CIBACWEB/axolotl.htm> [Último acceso: 13 Mayo 2011].
- COLE, C. A., BROOKS, R. P. y WARDROP, D. (1997). Wetland hydrology as a function of hydrogeomorphic (HGM) subclass. *Wetlands*, 17(4), 456-467.

- CONCAMIN, 2010. *Confederación de Cámaras Industriales*. [En línea] Available at: www.concamin.org.mx/agua-ecologia/TUNEL.doc [Último acceso: 3 Abril 2011.].
- COTLER, H. y. PRIEGO, A. (2007). *El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala*. En: *El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Segunda ed. México: s.n.
- Departamento del Distrito Federal (DDF), 1992. Dirección General de Operación y Dirección Hidráulica. *Secretaría General de Obras Hidrología Subterráneas en el Valle de México*.
- ESPINOSA, A. y MAZARI, M. (2008). Pueblos Indígenas de México y Agua: Xochimilcas. En: *Atlas de Cultura del Agua en América Latina y el Caribe*. Instituto de Ecología, UNAM, México.
- EZCURRA, E. (1996). *De las Chinampas a la Megalopolis*. 1ª ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- FIGUEROA, J. (2011). [En línea] Available at: www.ambiente-ecologico.com/ediciones/informe-sEspeciales/008_InformesEspeciales_valorizacionEconomicaBiodiversidad_JuanaFigueroa.php3 [Último acceso: 10 de mayo de 2011.].
- FLORES-ESTRELLA, H., YUSSIM, S. y LOMNITZ, C. (2007). Seismic response of the Mexico City Basin: A review of twenty years of research. *Natural Hazards*, Issue 40, 357-372.
- FORMAN, R. (1983). *An ecology of the landscape*. *BioScience*, 33: 535.
- GARZÓN, L.E. (2002). *Xochimilco Hoy*. Instituto de Investigaciones Dr. Jose Maria Luis Mora. México, D.F. 93.
- GDF, 2004. *Programa de Manejo de "Ejidotes de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco"* Gobierno del Distrito Federal.
- GDF, 2006. *Actualización del Programa de Manejo de "Ejidotes de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco"* Gobierno del Distrito Federal.
- INECOL, 2002. Informe Final. *Programa rector de restauración ecológica área natural protegida zona sujeta a Conservación ecológica 'Ejidotes de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco*. México, 323.
- KUHN, T. (2006). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura económica. 360 p.
- LABAUGH, J. W., WINTER, T. C. y ROSENBERRY, D. O. (1998). Hydrologic Functions of Prairie Wetlands. *A Journal of Natural and Social Sciences*, Issue 361.
- La Jornada, 2014. [En línea] Available at: www.jornada.unam.mx/2014/01/29/ciencias/a02n1cie [Último acceso: 28 de febrero de 2014.].
- LEFF, E. (2008). *Discursos sustentables, Siglo XXI editores S.A de CV*. 272 p. Lopez, A., GUERRERO, M., HERNANDEZ, C. y AGUILAR, A. (2006). Rehabilitación de la Zona Chinampera. En: Caraballo, C. Coords. *Xochimilco: Un Proceso de Gestión Participativa*. UNESCO. México. 201-218.
- MARTINEZ, J.L. (2004). *Manual de Construcción de Chinampas*. IMTA. Juitepec, Morelos. 44.
- MBWSR, M. B. o. W. a. S. R. (2013). *Hydrologic Monitoring of Wetlands (Supplemental guidance from BWSR)*, Minnesota: s.n.
- MARTINEZ-SANTOYO, G. (2006). Sistema de Canales de Xochimilco. En: Caraballo, C. coords. *Xochimilco un Proceso de Gestión Participativa*. UNESCO. México. 195-196.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington D.C.
- MELENDEZ, A. y ROMERO, F.J. (2009). *Humedales del Centro de México 2º parte: Aves de Xochimilco*. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-X). Distrito Federal, México.

- MÉNDEZ, S.A. (2005). *Plan Integral y Estructura de Gestión de Xochimilco como Sitio Inscrito en la Lista de Patrimonio de la UNESCO*. Gobierno del Distrito Federal en Xochimilco y enlace con el proyecto UNESCO-Xochimilco.
- MERLIN, Y. (2009). *Evaluación de dos sistemas de manejo recursos naturales de Xochimilco con indicadores de sustentabilidad*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. INECOL, Xalapa, Veracruz, México
- National Geographic [En línea]] Available at: Available at: <http://animals.nationalgeographic.com/animals/amphibians/axolotl/> [Último acceso: 10 01 2014].
- NRC (National Research Council), Academia Nacional de la Investigación Científica, A.C. Academia Nacional de Ingeniería, A.C. National Academy Press. 1995. *Mexico City's Water Supply Improving the Outlook for Sustainability*. Washington, D.C.
- NYMAN, D. et al. (2002). *Hydrology handbook for conservation commissions. A guide to understanding hydrology and hydraulic data and calculations under the Massachusetts Wetlands Protection Act*. Massachusetts: Massachusetts Department of Environmental Protection Division of Watershed Management, Wetlands and Waterways Program and U.S. Environmental Protection Agency Region I.
- PARSONS, J. (1982). *La agricultura chinampera del periodo prehispánico en el lago de Xochimilco, México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).
- PEÑA, E. (1978). *El Trabajo Agrícola en un Pueblo Chinampero: San Luis Tlaxialtemalco. México*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Etnología, 223pp.
- POZO, A. (coord.) (2010). *Las Chinampas de Xochimilco al despuntar el siglo XXI: Inicio de su Catalogación*. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAM-X). México, D.F. 279 pp.
- REYES, C. (2006). Cybercartography from a Modeling Perspective. In *Cybercartography: Theory and Practice*. Comp. Fraser Taylor. Ed. Elsevier. 63-97.
- ROJAS, T. (coord.) (1995). *Presente, Pasado y futuro de las Chinampas*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social (CIESAS) y Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco A. C., México D. F. 324 pp.
- ROJAS-RABIELA, T. (2004). Las cuencas lacustres del Altiplano Central. *Arqueología Mexicana*, XII(68), 9.
- ROMERO, F. y VELAZQUEZ, A. (1999). *Biodiversidad De La Región De Montaña Del Sur De La Cuenca De México*. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAM-X), Secretaria Del Medio Ambiente. México, D.F.
- ROMERO, P. (1993). *Impacto Socioambiental, en Xochimilco y Lerma, de las Obras de Abastecimiento de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (UAM-X). México, D.F. 151 pp.
- ROSA, H., S. KANDEL y L. DIMAS (2004). Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales. Lecciones de las Américas, en *Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos críticos para fortalecer estrategias comunitarias*. Ed. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (Prisma); Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat); Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C. (CCMSS). México, D.F. 125 p.
- RUIZ MEZA, L. (2004). *Gestión integrada de recursos hídricos con equidad de género*.
- SACM (Sistema de Aguas de la Ciudad de México), 2000. *Plan Hidráulico Xochimilco*. Gobierno del Distrito Federal (GDF). México D. F.

- SCHULZE, N. (2006). La convención del Patrimonio Mundial: Un Instrumento de Protección del Patrimonio de Todos. en: Caraballo, C. coords. *Xochimilco un Proceso de Gestión Participativa*. UNESCO. México. 35-41.
- SENCIÓN, G.J. (2002). *Evaluación económica de humedades: estudio de caso de humedades de Petexbatún-Petén, Guatemala*. Facultad de Ciencias Sociales. Departamento de Economía. pp 37.
- TAYLOR, F. (2005). The theory and practice of Cybercartography: An introduction. In *Cybercartography: Theory and Practice*. Comp. Fraser Taylor. Ed. Elsevier. 1-13.
- TROLL, C. (2008). *Ecología del paisaje*. [En línea] Available at: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/399/troll.html> [Último acceso: 10 03 2013].
- ZEDLER, J. B. y KERCHER, S. (2005). Wetland resources: status, trends, ecosystem services and restorability. *Annual Reviews Environment Resources*, 39-74.

Los humedales en el suelo de conservación en el Distrito Federal: Xochimilco y Tláhuac ante la problemática social de sus habitantes

Irma Escamilla Herrera¹, Flor M. López²,
Clemencia Santos Cerquera³

Resumen: Estudiar el espacio geográfico implica una visión de conjunto entre características físico-geográficas y socioeconómico-culturales de sus habitantes. Xochimilco y Tláhuac en épocas antiguas estuvieron cubiertas en su mayor parte por agua, la vida cotidiana se desenvolvía en ese ambiente a través de canales y avenidas. Esta condición fue transformándose con acontecimientos como la ocupación y asentamiento español en la antigua Tenochtitlan, presentándose paulatinamente un proceso de crecimiento y expansión de la ciudad, provocando una transformación de la estructura urbana y modificación de actividades de sus ocupantes, hasta llegar a una alteración del paisaje cada vez menos natural y más humanizado, que en pleno siglo veintiuno trata de conservarse para no perder sus prácticas ancestrales que validó la categoría de patrimonio cultural por la UNESCO (1987).

Este trabajo analiza algunos de los problemas concretos de carácter socioambiental que padecen, sufren y enfrentan los habitantes en los últimos humedales del Distrito Federal.

Palabras clave: humedales, suelo de conservación, Xochimilco y Tláhuac, caracterización socioeconómica, impacto ambiental.

Abstract: To study geographic space implies a joint vision between physical-geographical and socioeconomic-cultural characteristics. Xochimilco and Tláhuac in ancient times were covered mostly by water, daily life would happen in that environment through canals and avenues.

This condition was transforming with events like the Spanish occupation and settlement in the

¹ Mtra. en Geografía, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior de C.U., Deleg. Coyoacán, México, D.F. ieh@igg.unam.mx

² Dra. en Geografía, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior de C.U., Deleg. Coyoacán, México, D.F. fflore@yahoo.com.mx

³ Dra. en Geografía, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior de C.U., Deleg. Coyoacán, México, D.F. csc8896@hotmail.com

ancient Tenochtitlan, gradually presenting a process of growth and expansion of the city, causing a transformation of the urban structure and a modification of the occupants' activities, up to the arrival of an alteration of the landscape; every moment less natural and more humanized, which in plenary session of the twenty first century is trying to be preserve, so it keeps its ancestral practices that validated the category of cultural heritage given by UNESCO (1987).

This paper analyzes some of the concrete socio-environmental problems that the population suffers, endures and faces, in the last wetlands left in the Distrito Federal.

Keywords: wetlands, conservation soil, Xochimilco y Tláhuac, socioeconomic characterization, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

La conformación territorial de la Cuenca del Valle de México (CVM) data de una edad plio-cuaternaria que en el tiempo geológico representa varios millones de años y hace un millón de años estaba abierta en la porción sur por donde drenaba un sistema fluvial:

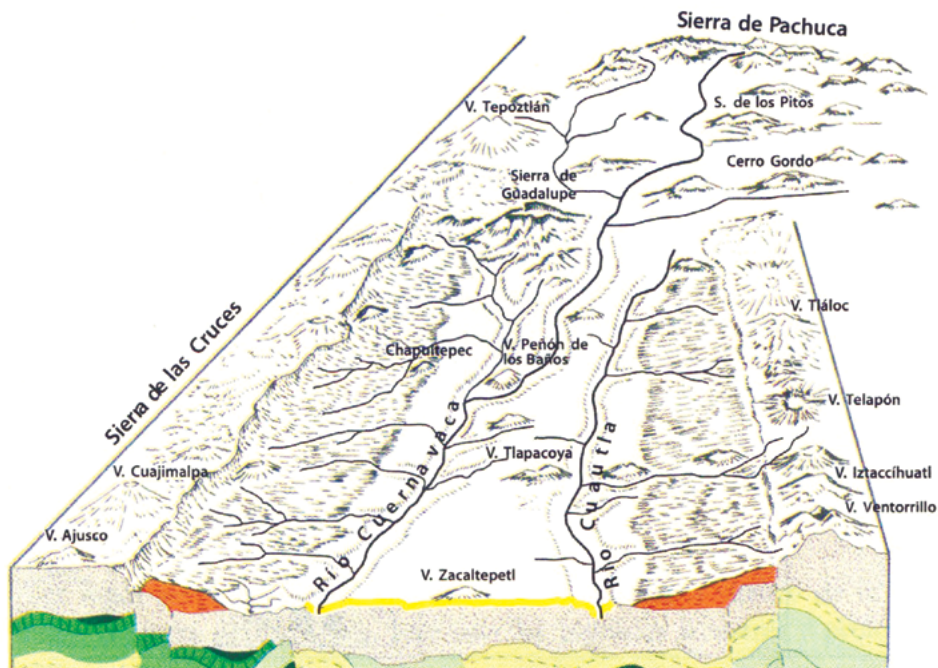
“...integrado por los ríos Cuernavaca y Cuautla. El primero drenaba la porción occidental y era alimentado por numerosos escurrimientos provenientes de la Sierra de las Cruces, las de Monte Alto, Monte Bajo y Tepotzotlán-Tezontlalpan. El segundo, el de Cuautla, escurría por el sector oriental de la Cuenca y era alimentado por las aguas que descendían de la Sierra Nevada; ambos eran afluentes del río Amacuzac y de esta manera quedaban integrados a la cuenca del Río Balsas, que posteriormente desemboca en el Océano Pacífico.

Como resultado de una intensa actividad volcánica se originó la Sierra del Chichinautzin en el Cuaternario superior; esta estructura cerró por el sur el antiguo valle de México; a partir de ese momento se convirtió en una cuenca cerrada o endorreica. Este nuevo conjunto montañosos interrumpió el drenaje existente y **favoreció la existencia de lagos**” (Gutiérrez y González, 2010: p. 17-18) [resaltado de las autoras] (Ver figura 1).

En esta cuenca inicialmente se formó un gran lago que con el paso del tiempo tanto por la modificación geomorfológica de la cuenca como por la intervención antrópica fue fragmentándose en varios lagos, los cuales variaron su nivel y los lagos que actualmente conocemos representan remanentes de los antiguos y extensos lagos de la era diluviana y algunos otros finalmente desaparecieron.

De aquí se deriva que no puede dissociarse entender la conformación la CVM sin la posterior presencia de los grupos humanos debido a que desde la época prehispánica las planicies lacustres y proluviales-lacustres fueron las áreas preferidas para los asentamientos humanos en la cuenca (Gutiérrez y González, 2010: 16-19).

Fig. 1: Valle de México en el Plio-Pleistoceno.

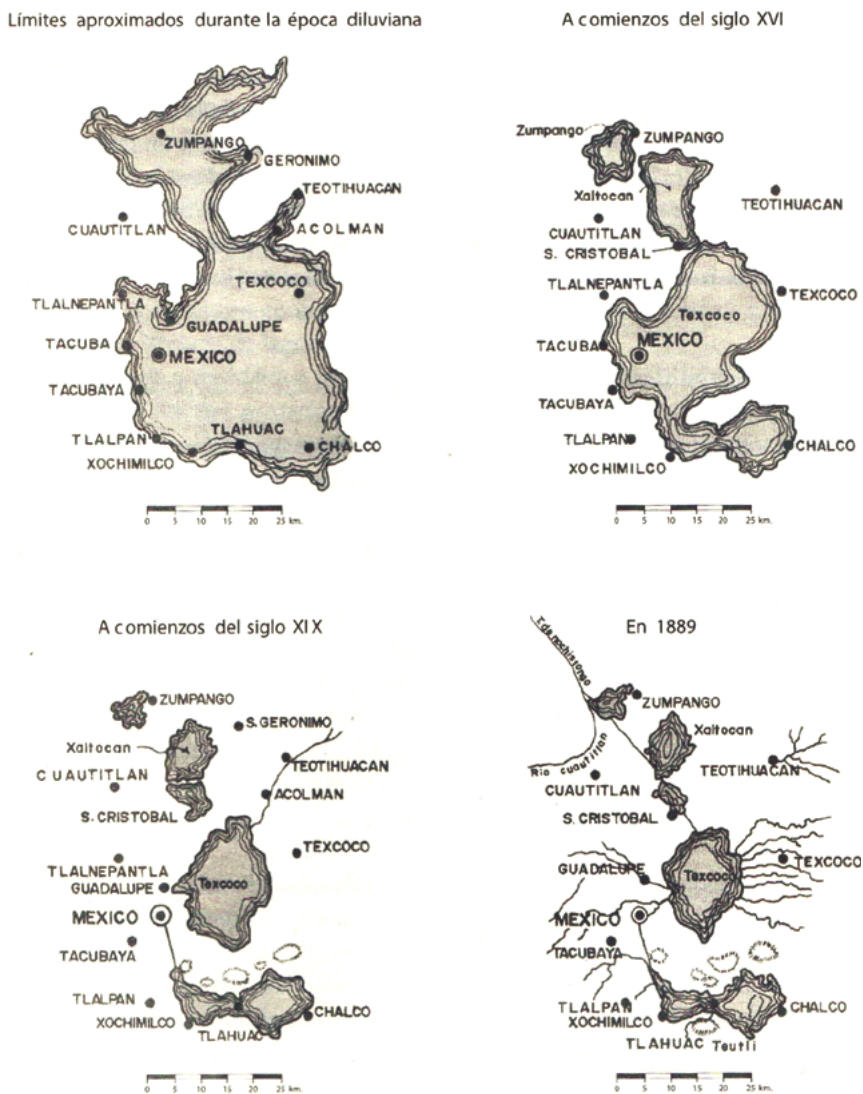


Fuente: Gutiérrez y González (2010: 18, Fig. 2, de acuerdo con Mooser, 1975).

Los especialistas en el estudio de la ocupación previa de la cuenca en la época prehispánica por civilizaciones como la teotihuacana, tolteca, chichimeca, mexicana y posteriores (Manzanilla y Serra, 1987; León Portilla, 1983, Orozco y Berra, 1864, Lombardo, 1987a,b) confirman la presencia de los antiguos pobladores en las planicies y orillas de los lagos por los elementos que les aportaban para el sustento diario: agua, alimentos y medio de transporte, y que con el paso del tiempo se comenzó a deteriorar el medio circundante por la tala de árboles que sirvieron para la realización de las grandes construcciones en las ciudades prehispánicas y para el uso doméstico, aunado a los tributos que debían pagar a México Tenochtitlan como leña, tablones de madera, morillos, vigas labradas para construcción, parihuelas, petacas y muebles, además de papel amate (Sepúlveda, 1991, citado por Gutiérrez y González, 2010).

Ya desde épocas prehispánicas se puede afirmar entonces que la extracción del recurso bosque fue fundamental en la economía de los indígenas y continuó en la época colonial hasta la actualidad, generándose con ello modificaciones en el ambiente natural que repercutieron en la desecación de los lagos. Asimismo, a ello hay que agregar las modificaciones antrópicas en cuanto a la construcción de chinampas que ampliaban el aprovechamiento del suelo y comenzaron a afectar a los cinco principales lagos distribuidos de norte a sur Zumpango, Xaltocan, San Cristóbal, (los más altos), Texcoco (el más bajo), Xochimilco y Chalco (Ver figura 2).

Fig. 2: Evolución de los lagos de la Cuenca de México.



Fuente: Gutiérrez y González (2010: 20, Fig. 3, de acuerdo con Wolfer, 1975).

Otro tipo de construcciones realizadas para evitar las inundaciones fueron en el oriente el albaradón de Netzahualcóyotl, separando al lago de Texcoco del de México; hacia el suroeste el dique de Mexicaltzingo, que separaba las aguas del lago de México del de Xochimilco, y al sur el dique de Cuitláhuac, que separaba los lagos de Xochimilco y Chalco, y la obra de ingeniería por acción antrópica que generó la primera gran transformación del ambiente de la Cuenca fue el Tajo de Nochistongo,

construido por Enrico Martínez en el siglo XVII convirtiendo a la Cuenca de México en exorreica. En época más reciente a principios del siglo XX se construyó el gran canal del desagüe y el túnel de Tequiquiac acelerando la desaparición de los lagos, hasta la construcción del sistema de drenaje profundo (*Ibid.*, 25-28) y si bien todas estas obras pretendían aliviar el grave problema que se sufría en la cuenca por las inundaciones en época de lluvias, representan los mayores desequilibrios ecológicos provocados por la intervención humana en la cuenca, que actualmente contiene a una de las más grandes megaciudades del mundo como lo es la Ciudad de México (Salazar, 2011).

De acuerdo con Aguirre (2010:12) la obra lacustre tenía una extensión original superior a los 1500 km² que con las obras antes mencionadas redujeron y modificaron la configuración original de la cuenca, pues se consideraba que en 1519 el lago aún tenía más de 10 m de profundidad en ciertos lugares; para 1864 subsistían cerca de 230 km² y para 1891 restaban 95 km² de la extensión original.

El autor considera que aunque se mantenía un desarrollo armónico del ambiente entre los pobladores y el aprovechamiento de sus recursos naturales, estas modificaciones continuaron a lo largo de la conformación del poblamiento de la cuenca de México y dentro de esta en particular, de lo que hoy se identifica como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que condicionaron la modificación del paisaje lacustre hasta reducirlo a solo unos remanentes: el lago de Texcoco de agua muy salada y alcalina, el lago de Zumpango de agua salobre con unos 15 km² de superficie máxima; la red de canales de agua dulce en Xochimilco, Chalco y Mixquic conservados artificialmente para usos turísticos principalmente; y el lago Tecocomulco en Hidalgo. Este proceso de ocupación aunado al proceso de urbanización produjo desde entonces las alteraciones ambientales que en la actualidad se padecen en la ZMVM, como se expondrán a continuación.⁴

CRECIMIENTO POBLACIONAL EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

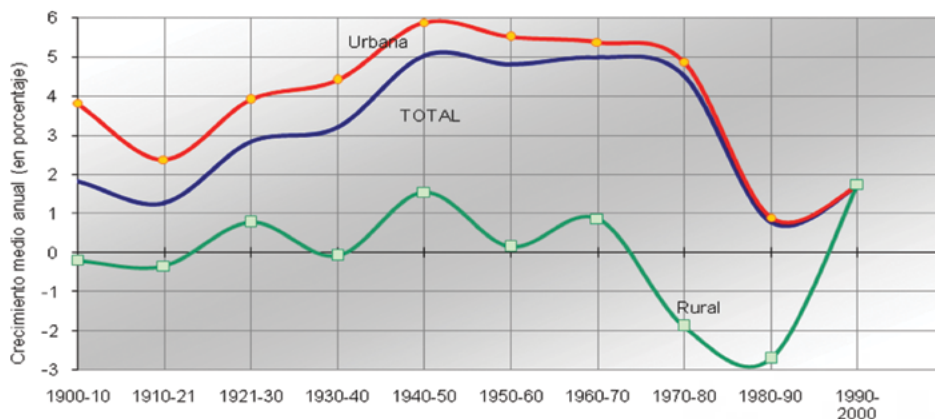
El crecimiento de la población en Cuenca de México al iniciar el siglo XX puede apreciarse en la siguiente gráfica (ver figura 3) donde se evidencia el cambio de una población rural que va en decremento, hacia una población eminentemente urbana que va a la alza, alcanzando tasas de crecimiento superiores al 5%, con las implicaciones territoriales, ambientales y sociales a que da lugar un proceso de urbanización que se experimenta desde hace decenios.

Ya en la sección anterior se dio cuenta del proceso de ocupación del Valle de México el cual data de épocas prehispánicas desde sus primeros pobladores en Cuicuilco hasta la última de sus civilizaciones antes de la llegada de los españoles en Tenochtilan, sin olvidar que también más allá de sus fronteras cercanas habitaron grupos importantes como los asentados en Teotihuacán, Texcoco, Tlacopan, ocupando las zonas de planicie lacustre aunado a que existían siete barreras naturales de la Cuenca que fueron determinantes hasta cierto momento de la historia del poblamiento de

⁴ Para una descripción más detallada del poblamiento histórico y características de la CVM y Tenochtitlan véanse: Ezcurra *et al.*, 1999, Ezcurra *et al.*, 2006, Gutiérrez y González, 2010; Gutiérrez, *et al.*, 2005, Gurría Lacroix, 1978; Mooser, 1975; Beltrán, 1973; León Portilla, 1975; Bernal, 1983.

la Ciudad de México y que hoy han sido rebasadas tales como al norte la Sierra de Guadalupe, al sur la Sierra de Santa Catarina, más al sur las sierras del Ajusco y Chichinautzin, al este el lago de Texcoco y al oeste las Sierras de las Cruces y Monte Alto.

Fig. 3: Crecimiento medio anual de la población total, urbana y rural de la Cuenca de México.



Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2005.

Este poblamiento se expandió desde 1524 en la época colonial cuando la Ciudad de México se edificó encima de las ruinas de Tenochtitlan, que se calcula tenía una superficie de 1.9 km² y cerca de unos 30 mil habitantes, y continuó hasta el inicio del siglo XX, 1900 ocupando una superficie de 16.9 km² habitada por 368 mil habitantes; durante ese lapso la Ciudad de México estuvo asentada en la planicie lacustre de la cuenca y se mantuvo en un núcleo compacto. Sin embargo, esto se fue modificando con el transcurso de los decenios generándose crecimientos ya de forma tentacular hacia las zonas rurales hacia el norte y el sur y comenzaron a ocuparse superficies en el piedemonte sin rebasarse todavía las barreras naturales antes citadas (cfr. Gutiérrez y González, 2010).

También el proceso de industrialización en el país influyó pues a partir de 1930 se vio reflejado en el crecimiento tanto en el número de pobladores como en el de su superficie, es decir se alcanzó el millón de habitantes en una superficie de 66.8 km²; para 1960, esto es en el lapso de treinta años, se sextuplicó la superficie de ocupación a 383.8 km² y la población alcanzó poco más de 5 millones de habitantes; por otra parte se compacta la superficie que ocupa la ciudad, se urbanizan los espacios y se llega incluso a alcanzar parte del relieve montañoso de la sierra del Chichinautzin hacia el sur y para 1990 la población creció más de 15 millones de habitantes, el crecimiento se diseminó hacia todos los puntos cardinales rebasando inclusive cuatro de las barreras naturales circundantes de la Ciudad de México, ocupando así una superficie de 1,160 km², de nuevo en un lapso de 30 años se triplicó la superficie de la ciudad. Es en el año 2000, inicios del siglo XXI, cuando la mancha urbana se extiende hacia la porción suroeste de la CVM, cubriendo una superficie de 1,675 km² y la población rebasó los 18 millones de habitantes siendo en ese momento cuando se rebasaron las siete barreras naturales, y en el caso específico de la Sierra de Guadalupe fue invadida casi

en su totalidad por el crecimiento urbano; todo este crecimiento significó que en tan solo diez años el tamaño aumentó una y media veces (*Ibidem*, p. 33-35).

Este crecimiento de lo que inicialmente se identificaba como la Ciudad de México hasta la actual Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), dentro de la CVM, puede apreciarse en el cuadro 1 y figura 4, en donde se observa cómo la ciudad rebasa los límites del Distrito Federal (DF) y se abre paso al proceso de conurbación en el decenio de los cincuentas integrando paulatinamente municipios de la entidad vecina, el Estado de México, en la medida en que se vieron influenciados por el desarrollo de las actividades productivas, de movilidad y lugares para habitar de población que migraba a la ciudad capital en búsqueda de fuentes de trabajo y una mejor condición de vida; llegando inclusive a integrar al municipio de Tizayuca en el estado de Hidalgo, para conformar la gran metrópoli, considerada dentro de las principales megaciudades del mundo.⁵

El proceso de metropolización no solo ha generado una creciente inclusión de unidades político-administrativas, sino que también ha implicado una redistribución poblacional en la totalidad del área metropolitana y a ello se asocian procesos tales como cambios en el uso de la tierra, incremento en la densidad y modificaciones en la estructura urbana.

Cuadro 1: Población (en millones) de la Ciudad de México, 1519-2010

Año ^a	Distrito Federal	Estado de México	Hidalgo	Total
1519 (Conquista)	0.3	-		0.3
1620 (Colonial)	0.03	-		0.03
1810 (Independencia)	0.1	-		0.1
1910 (Revolución)	0.7	-		0.7
1940 (Período Cardenista)	1.8	-		1.8
1950	3	0.03		3.03
1960	4.8	0.3		5.1
1970	6.8	1.7		8.5
1980	8.8	4.9		13.7
1990 ^b	9.3	7.3		16.6
1990 ^c	8.2	6.6	0.03	14.83
2000 ^d	8.6	9.0	0.04	17.64
2000 ^d	8.8	11.1	0.09	19.99

Fuente: DDF (1987a) y proyecciones de los autores

a. Los datos de antes de 1950 han sido elegidos como indicadores aproximados y se relacionan con las importantes fechas históricas indicadas entre paréntesis

b. Valores proyectados por los autores.

c. Valores del Censo de Población y Vivienda 1990.

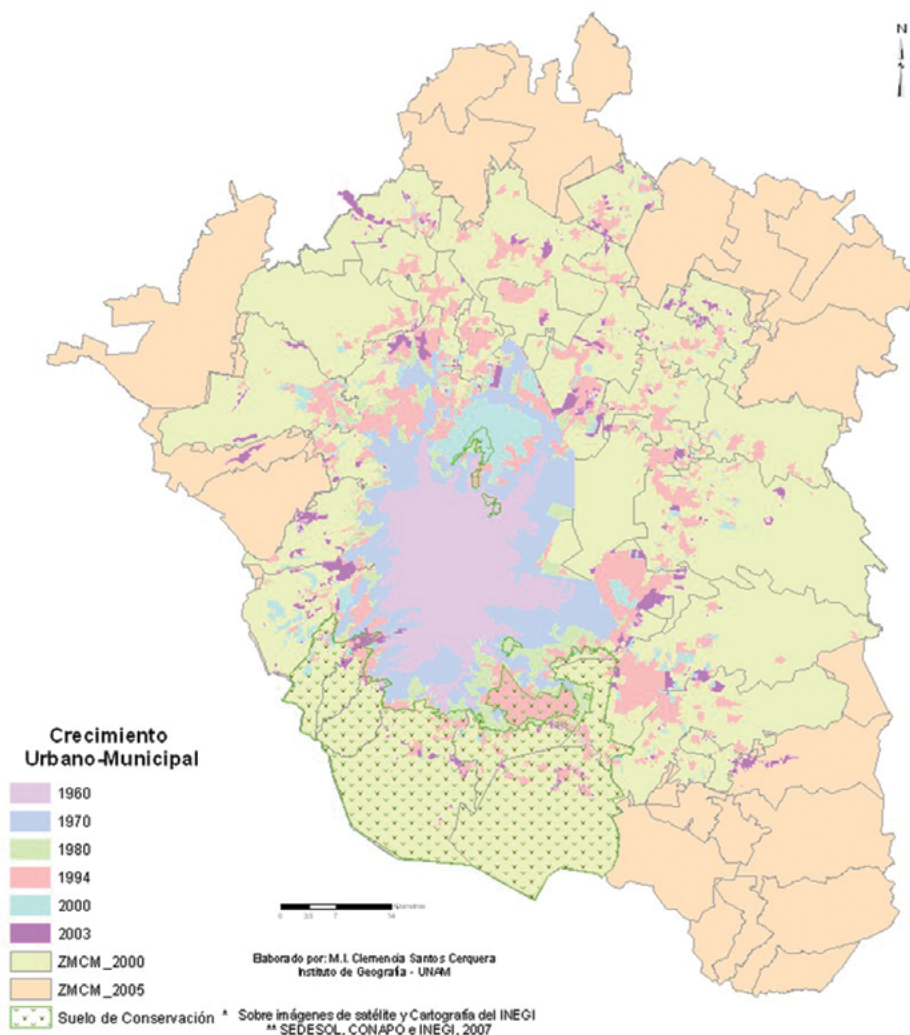
d. Valores del Censo de Población y Vivienda 2000.

e. Valores del Censo de Población y Vivienda 2010 actualización de las autoras.

Fuente: Ezcurra, *et al.*, 1999.

⁵ Las grandes metrópolis aglutinan a más de un millón de habitantes y para considerarse megaciudades rebasan los 10 millones de habitantes.

Fig. 4: Crecimiento urbano 1960 a 2003 y municipal 2000 a 2005 de la ZMVM y con el límite del suelo de Conservación.



Fuente: Santos, 2013:69 (Mapa 1).

Con el crecimiento de la ciudad y la repercusión en los cambios en el uso del suelo que se generaron, condicionaron que fuera cambiando la estructura territorial y la denominación de la misma, de acuerdo a los espacios que se fueron ocupando con el crecimiento natural y social en la Ciudad de México, en particular en el Distrito Federal, al que ahora se hará referencia para identificar la presencia del suelo de conservación dentro de esta unidad político administrativa en la cual a su vez se localizan los humedales objeto de esta investigación.

EL DISTRITO FEDERAL Y EL SUELO DE CONSERVACIÓN⁶

La denominación de suelo de conservación (SC) surge como una categoría especial dentro de la legislación urbana con objeto de una planeación territorial del DF que aparece a principios del decenio de los años de la década de 1980 en el Plan de Desarrollo Urbano del Distrito Federal donde se estableció una zonificación que dividía a su territorio en dos grandes zonas, el área urbana y el área no-urbana, en esta última se establecieron dos principales zonas, la zona de amortiguamiento que representaba una área de transición entre la realidad urbana y la rural, y el SC sujeto a una política estricta para preservar ese territorio contra las presiones urbanas; esta última zona fue el antecedente del actual SC (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 1980).

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (GDF, 2007:12), el SC cuenta con 87,294.36 ha que representan el 59% del DF distribuidas en nueve delegaciones político-administrativas, siete al sur y dos al norte y noreste: Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco. Esta zona incluye la mayor parte de las áreas rurales del sur del Distrito Federal e incluye grandes porciones de las laderas montañosas de las sierras del Ajusco, Chichinautzin y las Cruces. Hacia la zona oriente incluye el Cerro de la Estrella y la sierra de Santa Catarina, y el ex-lago de Xochimilco, Tláhuac y Chalco. En la zona norte también incluye una pequeña porción en la ladera de la sierra de Guadalupe y el Cerro del Tepeyac (Ver figura 5).

Es importante la atención y cuidado del SC para su conservación ambiental biofísica por su riqueza natural como lo es la existencia de más de 1,800 especies de plantas y animales algunas de ellas de carácter endémico; y proporciona bienes y servicios ecosistémicos⁷ para los habitantes del Distrito Federal que son esenciales para la sustentabilidad de la Ciudad de México. Entre estos procesos naturales se pueden mencionar: regulación del clima a través de la captura de dióxido de carbono (CO₂); infiltración de agua de lluvia para abastecimiento urbano; retención de partículas suspendidas que disminuye la contaminación atmosférica; preservación de la biodiversidad; actividades recreativas y áreas con valor escénico (PAOTDF, 2005:4).

La pérdida de cada hectárea de SC representa que los mantos acuíferos de la Cuenca de México, dejen de favorecer la recarga de alrededor de 2.5 millones de litros de

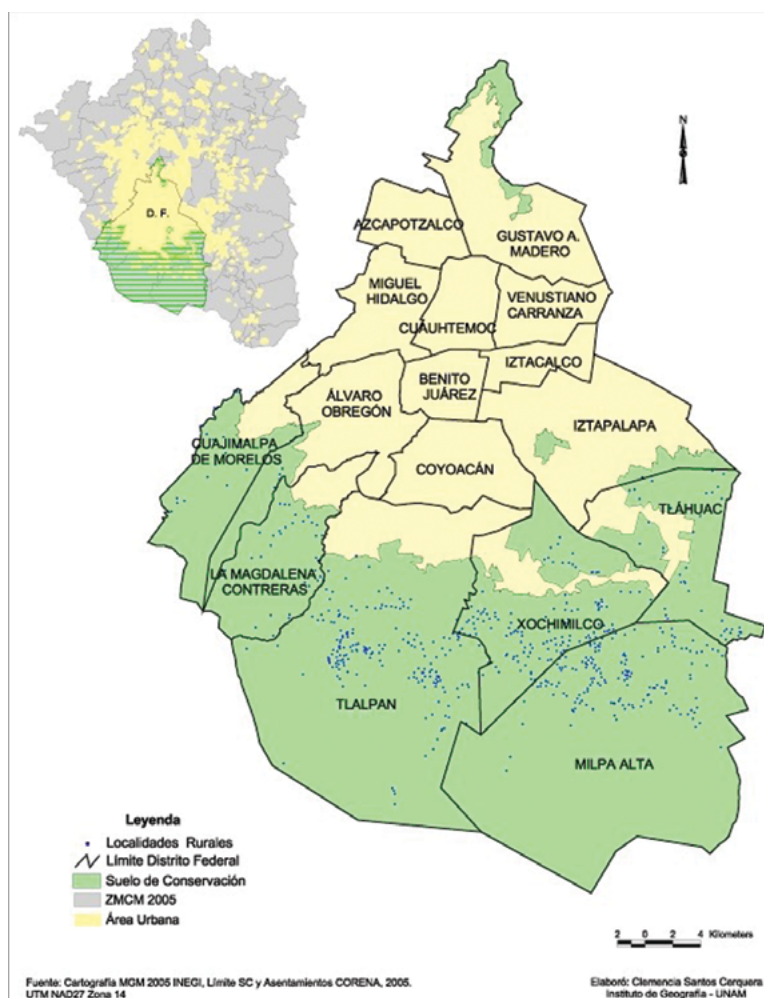
⁶ En 2009 en el Instituto de Geografía se realizó una amplia investigación sobre el Suelo de Conservación a solicitud del Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad del cual derivaron varias publicaciones entre ellas Aguilar, et al. 2009; Aguilar y Escamilla, 2009, 2011 y 2013 y en las cuales se basa el desarrollo de este apartado.

⁷ Los cuales se clasifican en cuatro tipos: *Servicios de provisión*: captación y filtración del agua de lluvia que permite la recarga de acuíferos del agua subterránea que utilizamos ya que provee el 70% del agua que consume la ciudad; reserva de información genética de especies silvestres y cultivadas como la conservación del germoplasma de maíz nativo; recursos alimentarios y medicinales; producción de oxígeno. *Servicios de regulación*: controlan la temperatura y humedad de la ciudad; regulación edáfica con la fijación de carbono e hídrica; control de deslaves. Capacidad de captura de carbono de 90 ton/ha, retención de partículas suspendidas de polvo, producto de la contaminación y los incendios forestales. *Servicios culturales*: lugares para la recreación, rutas y corredores ecológicos, vías verdes. *Servicios de soporte*: existencia de los bosques, pastizales, tulares, humedales y demás ecosistemas, conservación de la diversidad biológica flora y fauna silvestres (11 por ciento del total nacional), actividades productivas primarias para el soporte económico de población rural y urbana del DF (PGDUDF, 2007: 59; Plan Verde, 2008: 50 y ASA-ZMVM, 2010: 12).

agua cada año, de ahí la importancia clave para su conservación. Es necesario mencionar la presencia de las barrancas en áreas urbanas, las cuales se suman a estos espacios que aún conservan vegetación natural y que tienen una función reguladora clave porque se concentran los flujos hídricos en forma de torrentes que provienen desde las laderas montañosas. Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2007).

La existencia misma de los bosques, pastizales, humedales y demás ecosistemas que conforman este espacio permiten la captura de carbono a través de la generación de biomasa, la producción de oxígeno, la formación y retención de suelos y son hábitat de numerosas especies bióticas como se mencionó. La pérdida o deterioro de las áreas verdes urbanas y de los bosques en el Suelo de Conservación, aumentarán cada día el efecto de isla de calor en el área urbana (GDF, 2008).

Fig. 5: El Suelo de Conservación en el Distrito Federal

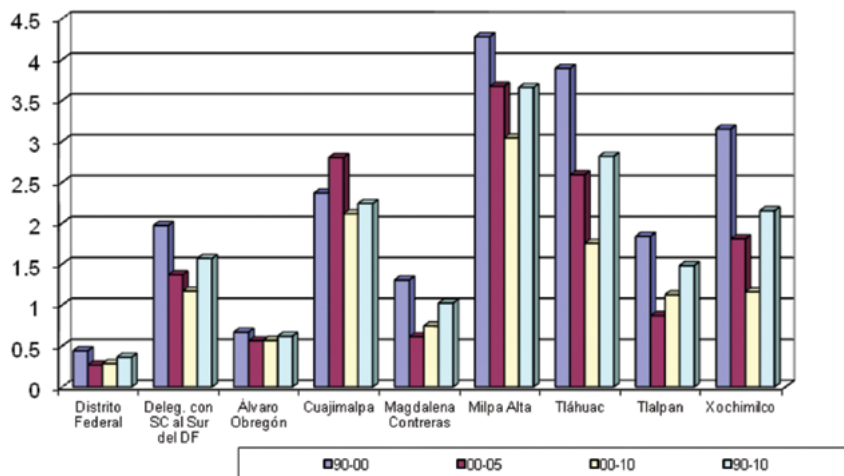


Desde una perspectiva económica el SC cuenta con importantes áreas que están dedicadas a las actividades agropecuarias y que son fuente de productos de subsistencia utilizados por la población que habita la zona rural al sur del DF y constituyen una actividad económica complementaria de los diferentes pueblos, ejidos y comunidades. Se considera que actualmente existen aproximadamente 16 comunidades agrarias de las cuales el 85% se dedican a actividades agrícolas; se destaca la delegación de Milpa Alta con el mayor número de comuneros. La mayor parte de las áreas agrícolas son de temporal con cultivos de frijol, maíz, chile verde, papa o nopal. Muchas de las unidades productivas pasan por un proceso de diversificación ocupacional con actividades vinculadas al autoconsumo, la compra venta de productos o la migración temporal.

Como se mencionó en cuanto a las repercusiones derivadas de un proceso de expansión de la ciudad, las actividades agropecuarias lamentablemente han pasado a segundo término por la falta de apoyo tanto económico como tecnológico que ha generado descapitalización e improductividad; todo lo cual ha motivado a los agricultores a emplearse en actividades industriales y terciarias dentro y fuera del SC; y los ha llevado a subdividir sus propiedades para construcciones urbanas. A su vez el SC también contiene sitios con actividad para el turismo y la recreación tales como: pistas para motocicletas y bicicletas; "gotcha" [también conocido como paintball]; parques infantiles; áreas de servicios de alimentos en paisajes atractivos; zonas de caminata y escalado, lagos naturales y artificiales.

Si se considera la dinámica socio-demográfica y la expansión urbana, la población que se asienta en el SC presenta un ritmo de crecimiento demográfico mayor que el Distrito Federal en su conjunto, lo cual se convierte en una presión social fuerte para la dotación de satisfactores sociales y de infraestructura y equipamiento (Ver figura 6).

Fig. 6: Tasa de Crecimiento medio anual de la población. Delegaciones en suelo de conservación al sur del Distrito Federal, 1990-2010.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 1990-2010, XI a XIII Censos Generales de Población y Vivienda y Censo de Población, 2005.

Una gran mayoría de la población asentada en el SC presenta un nivel socio-económico muy bajo por lo que se trata de población en condiciones de vida precarias. Esta zona ha sido afectada por un proceso de urbanización formal e informal, ya que, la situación de debilidad de la propiedad rural por la baja renta agropecuaria favorece su ocupación urbana y genera especulación sobre la tierra. La expansión urbana se lleva a cabo a través de un proceso de urbanización hormiga (PAOT, 2003:8) que gradualmente va ocupando diferentes territorios en espacios que no aptos para la ocupación humana, y debido a que no existen zonas de reserva territorial en el DF, el SC es la opción para establecer su casa habitación (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 1998).

Se resume entonces que los usos de suelo que distinguen al SC la mayoría está ocupado por presencia de bosque (43%), seguido de actividades agrícolas (32%), pastos (12%), y uso del suelo urbano (11%); estos últimos principalmente corresponden a 36 pueblos tradicionales que han existido en esta parte de la ciudad por lo menos desde principios del siglo anterior (GDF, 2007). También hay que señalar que existen asentamientos humanos irregulares (AHI) la mayoría de los cuales han surgido en los últimos 15 a 20 años (Aguilar y Santos, 2011; PAOT, 2003) y que a continuación se expone el caso de dos delegaciones en donde subsisten los humedales, cuya presencia está en riesgo por este tipo de ocupaciones ilegales.⁸

HUMEDALES EN EL DISTRITO FEDERAL

Como se pudo apreciar en la introducción, la conformación original de la CVM estuvo caracterizada por la presencia de agua almacenada en los diferentes lagos que la integraban, la cual paulatinamente fue disminuyendo su superficie en la medida en que fue poblándose y se fueron construyendo diversas obras para dar estructura a la ciudad en cuanto a la disposición de los asentamientos, así como para evitar las inundaciones,⁹ que dio paso a la modificaciones del paisaje natural y cultural.

Alejandro de Humboldt describió en su Ensayo Político (1822) el desecamiento de los lagos por parte de los españoles. Aun con la desecación de lagos y obras de drenaje, la navegación por los canales era vigente, como el Canal de La Viga que era una vía de transporte de productos agrícolas entre las chinampas de Xochimilco y el centro de la ciudad. En la actualidad los canales son prácticamente para el uso de la población local como medio de comunicación o para la recreación de los visitantes (figura 7).

⁸ Otras investigaciones que dan cuenta del proceso de deterioro y pérdida del SC se pueden consultar en: Schteingart y Salazar, 2005; Sheinbaun, 2008 y 2011; Pérez *et al.*, 2011.

⁹ Estudiosos consideran que a la llegada de Hernán Cortés en 1521 habitaban Tenochtitlan unas 300 mil personas por lo que probablemente era la ciudad más grande, con un emplazamiento perfecto en cuanto a que por vía fluvial se podía llegar a cualquier punto por la conexión de los canales de diversas dimensiones y en los más anchos por las calzadas; la ciudad contaba con tres tipos de calles de tierra firme, canales y mixtas las cuales adquirirían su nombre por las características obvias (León Portilla, 1975).

Fig. 7: Xochimilco. Utilización de canoas para cruzar el canal y acceder a casa.



Fuente: Fotografía Irma Escamilla

En dos de las delegaciones del Distrito Federal aún subsisten reminiscencias de estos cuerpos de agua: Xochimilco y Tláhuac que experimentan procesos de ocupación semejante, pero con características que las distinguen y diferencian y han sido objeto de diversas investigaciones sobre todo en el caso de Xochimilco,¹⁰ por su ancestral actividad que la caracterizó y de la cual deriva su nombre, en cuanto a la producción de flores; y varios de los canales de Xochimilco se extienden hacia Tláhuac y Chalco y a estos cuerpos de agua naturales se agregan lagos urbanos artificiales como el del bosque de Tláhuac.

En la actualidad se ha aprovechado la tecnología a través de las imágenes de satélite y fotografías digitales que permiten observar las variaciones espacio-temporales de los remanentes de estos cuerpos de agua (cfr. Aguirre, 2010). De acuerdo con Aguirre (2010:60) la zona lacustre de Xochimilco se estima en una longitud aproximada de 203 km a través de canales que se conectan entre sí: Cuemanco, Nacional, Chalco, Del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Ampampilco, Texhuilo, Zacapa, Caltongo, Santa Cruz y Japón. Los lagos principales son Caltongo, Del Toro y el más conocido de San Gregorio Atlapulco como un lago de conservación de flora, fauna y acuacultura. A este

¹⁰ Cfr. González, 2009; González, C. J., 1992, Rojas, 1983, Aguilar y López, 2009, Zambrano *et al.*, 2010, Contreras, *et al.*, 2009.

sistema lacustre lo identifica como un humedal permanente con profundidades variables en los canales y zonas inundadas de 60 cm y en los lagos de 3 a 6 m; la presencia de agua en algunos de estos sitios depende de la época del año. El autor considera asimismo que el lago es un cuerpo de agua léntico; es decir, que experimenta una mayor retención de sedimentos con lo que el fondo se enriquece para beneficio de los organismos y la actividad agrícola en las chinampas.

Al respecto, López *et al.* (2010) plantean que en los canales de Xochimilco se manifiestan áreas agrícola, pecuaria, pesquera, turística y urbana, los cuales son abastecidos en un 96.25% de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella que comenzó sus funciones en 1971, y el otro 3.75 % proviene de la planta de San Luis Tlaxiátemalco que inicia funciones en 1990 (DDF, s/f) (Ver figura 8).

Estos autores (*Ibidem*, 42) coinciden en que uno de los usos más frecuentes en Xochimilco es para riego agrícola, aún con los riesgos que de ello derivan en la contaminación de hortalizas por organismos patógenos, presencia de metales pesados y salinización de tierras irrigadas y afirman que el uso de humedales es una alternativa para mejorar la calidad del agua; que consiste en sistemas que utilizan macrofitas acuáticas, las que se reproducen rápido y tienen capacidad de absorción de contaminantes; que se asegura una actividad microbiana en todas las estaciones del año sin producir olores por su biomasa radicular; la vegetación por su parte incrementa o mantiene la diversidad ambiental en la zona y se conforman como hábitat para la fauna que se integra de manera natural al paisaje. Entre las desventajas de los humedales la constituye la pérdida de agua por evapotranspiración lo que provoca un aumento de la salinidad del afluente.

En el estudio llegan a conclusiones (*Ibidem*, 46-50) como una concentración de compuestos fosfatados en la zona agrícola probablemente por el uso de fertilizantes; en la zona pecuaria y agrícola concentraciones de nitrato por el acarreo de desechos del ganado y los compuestos utilizados en la agricultura y en la zona de pesca valores bajos de las variables que analizaron, además de identificar que el tratamiento de la planta de Cerro de la Estrella es deficiente porque el agua tratada presenta concentraciones altas de nutrimentos que favorecen el crecimiento de microalgas.

Con estos resultados se hace evidente que debe ponerse mayor atención en las plantas de tratamiento para evitar que provoquen mayores problemas a futuro tanto para las condiciones de salud de los habitantes, como para el desarrollo de sus actividades productivas, sobre todo en la zona chinampera¹¹ que se desarrolla en la superficie lagunar, aunque también están las chinampas tierra adentro y las de caja como una forma de conservar esta práctica de cultivo.

Si bien Xochimilco ha estado en la mirada nacional y mundial desde hace decenios, es a partir de 1987, cuando la UNESCO decreta considerarlo como patrimonio natural de la humanidad, que su atención se vuelve necesaria por la responsabilidad que implica tanto para sus habitantes como para la población en general.

¹¹ Chinampa proviene del náhuatl *chinamitl*, seto o cerca de cañas, identificado como un método mesoamericano de agricultura que utiliza pequeñas áreas rectangulares de tierra fértil para cultivar flores y verduras en la superficie de lagos y lagunas artificiales del Valle de México, también llamado jardín flotante. Su aprovechamiento permitió sustentar el abastecimiento de los pobladores de Tenochtitlan.

Fig. 8: Vertedero de agua en los canales de Xochimilco proveniente de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella.



Fuente: Fotografía Irma Escamilla

En enero del 2006 se publica en el diario oficial el Programa de Manejo del Área Natural Protegida (ANP), Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (DGCORENADER) (2006) donde se plantean objetivos específicos para la **Protección** de los recursos naturales y del paisaje cultural; el **Manejo hidráulico** para mejorar el control y la calidad del agua.; **Restauración** a fin de detener y revertir la degradación de los recursos naturales; el **Aprovechamiento productivo** para regular las actividades agrícolas, fomentando el uso de técnicas agroecológicas y protegiendo la cultura tradicional chinampera; el **Ordenamiento de las actividades** turísticas, recreativas, deportivas y de educación ambiental para que sean compatibles con la conservación de los recursos naturales, el paisaje regional y los elementos histórico-culturales del ANP; aunado a la **Investigación y Monitoreo** a fin de identificar e impulsar líneas para la investigación científica, monitoreo y evaluación de los recursos naturales del ANP; se considera en particular la **Participación comunitaria** y Fortalecer el vínculo con la sociedad local y regional como participantes y beneficiarios de las actividades de conservación.

Falta evaluar el seguimiento que se ha dado a estos planteamientos para lograr un óptimo desarrollo de todos los trabajos que implican estas acciones a favor de la conservación de los recursos naturales y del paisaje cultural.

Dada la importancia ancestral y tradicional de Xochimilco, se ha dejado del lado la consideración del lago y humedales de Tláhuac como otros de los cuerpos de agua

necesarios de referenciar en todo el funcionamiento lacustre de la CVM y que es la última zona de recarga del Valle de México.

Los humedales de Tláhuac son un remanente del lago de Chalco y como en el caso anterior, dependiendo de las condiciones climatológicas, la extensión del humedal alcanza entre 400 y 800 ha; dichos humedales se han constituido como refugio de más de 25 especies de animales, entre aves, mamíferos, reptiles y peces; sin embargo, también están expuestos a la desecación pues se ha presentado en los últimos años una activa intervención de fraccionadores ilegales, aunada a una explotación indiscriminada de los recursos hídricos para la irrigación o abastecimiento de agua a la ciudad y la depredación de que son objeto las especies piscícolas y de aves que crecen en esta zona, que ponen en peligro su permanencia.

El sistema chinampero de Tláhuac-Xochimilco es efectivo en la regulación de picos de lluvia, la remoción de contaminantes y la producción de alimentos. No obstante cada vez experimenta graves daños debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, al proceso de deforestación, a la contaminación de suelos y aguas, a la pérdida constante de superficie de sustentación y al cambio en las actividades productivas.

Para los defensores de este sistema productivo ancestral consideran que las chinampas son un sistema que debe continuar su vigencia, aún con los daños que han venido sufriendo, pues los impactos que se generarían serían irremediables.

La superficie del lago es cercana a las 500 ha que es detenida por las paredes del Canal General el cual está construido un metro arriba de las colonias de Valle de Chalco. Se espera que en 2015 su extensión sea de 1,500 ha incluyendo zonas densamente pobladas de Valle de Chalco y Tláhuac.

En el caso de Tláhuac el interés por su atención, cuidado e investigación ha sido más tardío; es apenas en 2011 que, con la finalidad de un manejo adecuado de los recursos hídricos de la región, se publica el Plan Hídrico de las subcuencas Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico (2011) que estuvo a cargo de la Comisión de Cuenca Ríos Amecameca y La Compañía, la Universidad Autónoma Metropolitana y Guardianes de los Volcanes derivado de toda la problemática que han enfrentado los habitantes a lo largo de su historia: hundimientos, grietas, escasez, inundaciones, contaminación de aguas superficiales y subterráneas en la Subcuenca, la desecación de los manantiales, chinampas y bosques, y todo ello con la finalidad de convertirla en una región modelo de gestión hídrica equilibrada (cfr. en <http://centli.org/biblioteca/planhidrico.pdf>).

Con este Plan Hídrico se propone disponibilidad, uso, aprovechamiento del recurso, planteamiento de estrategias, prioridades y políticas para que se logre un equilibrio del desarrollo regional sustentable en la cuenca así como avanzar en la gestión integrada de sus recursos hídricos (*Ibidem*:25). Aquí también habrá que dar seguimiento para que se cumplan los objetivos para los que fue creado.

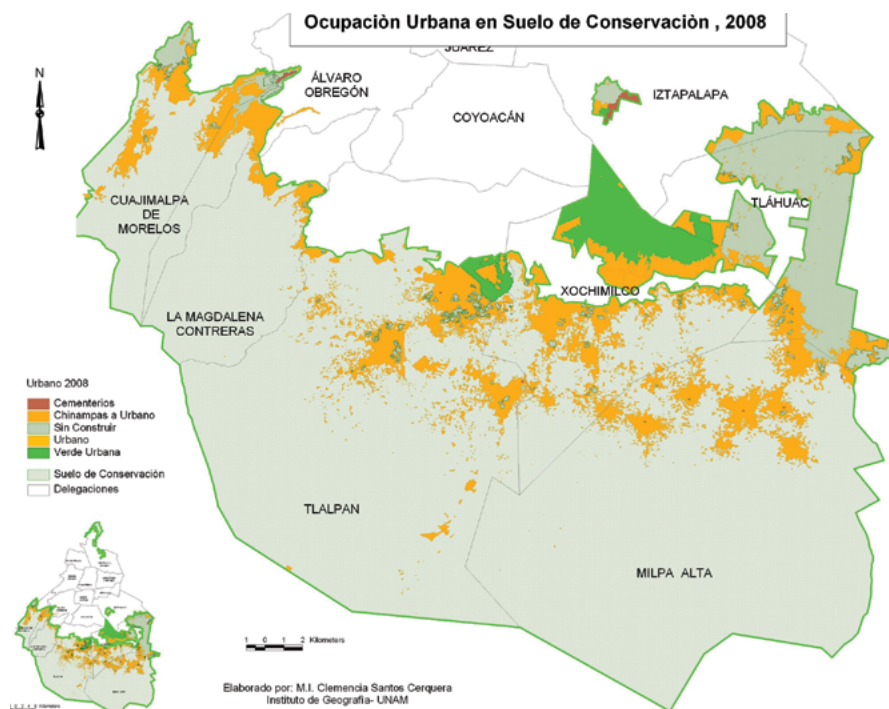
Sin embargo, debe hacerse evidente que desde el inicio de la construcción de la línea 12 del metro, denominada la "línea dorada" se preveían cambios drásticos que afectarían a la zona por la gran afluencia de personas, medios de transporte alternativo y complementario al servicio del metro como de autobuses, taxis, microbuses, y por tanto mayor movilidad de personas y mercancías, la inevitable proliferación de comercio ambulante y la ocupación de suelo para nuevos asentamientos (cfr. <http://www.cronica.com.mx/notas/2012/692223.html>).

PROBLEMÁTICA SOCIAL EN XOCHIMILCO Y TLÁHUAC

En 1968 por la ampliación del anillo periférico¹² y la cercanía con esa vía se dio un proceso de crecimiento en la delegación Xochimilco, y ahora con la construcción de la línea 12 del metro, se considera que habrá mayor crecimiento en Tláhuac, que sin duda alterará en mayor medida el equilibrio ecológico en la zona, ya de suyo deteriorado.

Como se mencionó en el apartado de Suelo de Conservación, al carecer de áreas de reserva territorial en el DF, el SC se ha convertido en la opción para población que no cuenta con vivienda, o no tiene ingresos suficientes para pagar una renta, y busca su asentamiento de manera ilegal en la periferia de la ciudad, generalmente en lugares no aptos para la habitabilidad y que ponen en riesgo su vida, pero que no hay otra opción para ello, lo cual ha desencadenado un aumento de asentamientos, la mayoría de ellos irregulares, expandiéndose la mancha urbana de manera alarmante sobre el SC como se puede apreciar en la figura 9, en particular en Xochimilco y Tláhuac.

Fig. 9: Expansión urbana en SC, 2008.



Fuente: Santos, 2013: 99, Fig. 6.

¹²El anillo periférico es una de las vías rápidas que circunvala la Ciudad de México tanto en el Distrito Federal como en los municipios conurbados del Estado de México y va adquiriendo diferentes nombres durante su trayecto; es una vía prioritaria integrada por carriles centrales y laterales que permiten la movilidad de vehículos automotores de todo tipo, que se ha ido ampliando en la medida que la ciudad se ha expandido. A partir del 2002 la ampliación ha sido a través de la construcción de un segundo nivel al que coloquialmente se le conoce como "segundo piso".

En el DF, se registraron alrededor 804 asentamientos irregulares, con 42 mil familias ocupando 8000 ha de SC. Tan solo Xochimilco concentra el 37% de SC con este tipo de asentamientos. Para el mismo año, en esta delegación se registraron 300 asentamientos irregulares con más de 125 mil habitantes, ocupando cerca de 700 ha de SC. Mientras que Tláhuac reportó 81 asentamientos irregulares y más de 4 mil familias en 300 ha (PAOT, 2003:119).

Lo anterior, evidencia las dimensiones de los problemas que enfrentan los habitantes de los asentamientos irregulares en el SC en Xochimilco y Tláhuac en cuanto a la dotación de la vivienda, carencia de servicios, el principal problema es el acceso al agua potable, seguido de drenaje y electricidad. En cuanto al asentamiento: vialidades inexistentes o escasas y de baja calidad, ausencia de alcantarillado, alumbrado público, líneas telefónicas; a ello se agrega la falta de transporte público suficiente; escuelas, servicios de salud, y donde la accesibilidad a algunos de los asentamientos es casi imposible.

La ausencia de tales servicios se explica porque la irregularidad en la ocupación del suelo niega la posibilidad de su existencia; no obstante, las autoridades delegacionales deben intervenir para no agravar la condición de los habitantes especialmente en lo concerniente a la disponibilidad de agua, elemento básico en la vida de las personas, por lo que en la mayoría de los casos abastecen a las poblaciones a través de carros cisterna o "pipas" en días y horas establecidos, que aunque no tienen un costo, los pobladores se ven obligados a proporcionar propinas a los "piperos" [vendedores de esta agua] para asegurar la dotación. Esta condición si bien alivia en parte los requerimientos de las familias por el vital líquido, dependiendo del número de miembros, que generalmente son familias numerosas, en ocasiones no es suficiente para cubrir sus necesidades y se ven obligados a comprar agua embotellada que representa altos desembolsos del escaso ingreso familiar, o bien organizarse en grupos para contratar de manera particular la dotación del servicio de una pipa de agua.

A ello debe agregarse que no siempre el proceso de almacenamiento se presenta en las mejores condiciones porque los tanques o barriles pueden estar oxidados o no cuentan con tapas adecuadas, quedando expuestos a contaminación por el polvo, basura, insectos, fauna nociva (figura 10).

Por ejemplo, para el 2010, el 24% de la población total de Xochimilco y el 11% de la población total de Tláhuac se ve afectada por el precario suministro de agua. Por un lado, los servicios formales son insuficientes pues el agua es abastecida por medio de tandeo, suministro intermitente, baja presión, o por mencionar el peor de los casos, cuentan con la infraestructura hidráulica al interior de las viviendas pero el agua no corre físicamente o si corre está contaminada, por lo que la mayoría de la población debe recurrir al abastecimiento informal del servicio como conectarse de manera "furtiva" a fuentes naturales como manantiales, comprar el agua a altos precios y a vendedores clandestinos, almacenarla y racionarla en recipientes de diversos tamaños, (INEGI, 2010).

Fig. 10: Formación de tanques para ser abastecidos por la pipa en Nochicala, San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco.



Fuente: Fotografía Irma Escamilla.

Ante la escasez de agua la reutilización del líquido es casi obligado para sus habitantes dándole dos o hasta tres reúsos para el lavado de utensilios de cocina, lavado de ropa, aseo de la vivienda, regado de plantas, que en el caso de los quehaceres domésticos en la mayoría de las ocasiones es realizado por las mujeres, lo cual complica y aumenta el número de horas en el desempeño por la recolección que debe hacer en los distintos reusos del agua.

Dado que en las viviendas se carece de drenaje algunas cuentan con letrinas y en otras las excretas son desechadas a cielo abierto, con las consecuentes fuentes de infección y contaminación del aire, y presencia de insectos, por lo que el rubro de la salud es otro de los inconvenientes que enfrentan los pobladores en las periferias, sobre todo en padecimientos gastrointestinales y respiratorios.

El tendido de cables del alumbrado público desde el último poste más próximo en los límites de los asentamientos genera un entramado casi imposible de identificar y a su vez es un riesgo en caso de que tenga lugar algún corto circuito.

Además de la precariedad en la disponibilidad de servicios en las viviendas, también se experimenta la construcción de viviendas con materiales precarios en paredes y techos: madera, lámina, cartón; pisos de tierra y el hacinamiento, en algunos predios habitan más de dos familias cuya cantidad de hijos es mayor de tres y algunas de las viviendas solo disponen de un cuarto. A esto se suma una baja escolaridad, todavía persisten personas mayores de 15 años analfabetas, además no disponen de seguridad social.

Los humedales en el suelo de conservación en el Distrito Federal...

Fig. 11: Vivienda en uno de los canales de Xochimilco construida con materiales precarios en paredes y techo.



Fuente: Fotografía Irma Escamilla.

Fig. 12: Precariedad en las viviendas y hacinamiento en un predio en que alberga a tres familias en el asentamiento Circuito Panamericano, en el pueblo de Santa Cruz Alcapixca.



Fuente: Fotografía Irma Escamilla.

El panorama urbano-ambiental se ve afectado continuamente con el crecimiento demográfico, en el último decenio se registraron tasas de 1.2 y 1.8 en Xochimilco y Tláhuac, respectivamente, esta última seis décimas de punto porcentual arriba del promedio para el SC (1.2), que se traduce en pérdida de bosque, zonas agrícolas, generación de desechos sólidos y líquidos contaminados, ocupación de laderas y cauces que afectan la captación de agua pluvial, todo lo cual constituye una amenaza medioambiental en ambas delegaciones.

Cuando se habita en zonas prohibidas debe hacerse un pago por servicios ambientales y para ello se identifica qué tipo de ocupación es y si hay forma para cambiar, por lo que se da una especie de donación o pago por afectación en el SC; sin embargo, eso solo mitiga y no detiene la afectación ambiental por la ocupación en esos espacios.

CONSIDERACIONES FINALES

En los espacios analizados se manifiestan dos tipos de crisis, la ambiental por los impactos causados a las condiciones naturales y la social por los escenarios demográficos empobrecidos en la periferia de la Ciudad de México. Se experimenta una concentración geográfica de desventajas que se refleja en espacios de pobreza que pueden ser focos de alarma por la baja escolaridad de sus pobladores, por condiciones precarias de salud y situaciones de escasas oportunidades económicas: todo ello en conjunto puede ser generador de escenarios de inseguridad y delincuencia y agudizarse al extenderse hacia las colonias vecinas.

En estos espacios se experimenta una cultura de la pobreza y marginación que puede convertirse en un problema social y de gobernanza y que por tanto requiere de gran atención por parte de las autoridades locales para una atención integral tanto ambiental como social. Debido a lo anterior, es de vital importancia regular y controlar, ya que se evidencia un conjunto de procesos urbano-ambientales que complican aún más la mitigación de la degradación ambiental, específicamente de los humedales, los cuales paulatinamente han ido desapareciendo para convertirse en depósitos de basura, propiciando la pérdida de cobertura vegetal, deforestación, pero sobre todo por la invasión masiva de los asentamientos humanos irregulares. Este conjunto de procesos de deterioro urbano ambiental, cada vez están más cercanos a agudizar los efectos del cambio climático en la ciudad.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- AGUILAR, A. G., (coord.), JORGE LÓPEZ BLANCO, FLOR M. LÓPEZ GUERRERO, ANTONIO VIEYRA MEDRANO, M.^a DE LOURDES RODRÍGUEZ GAMIÑO, IRMA ESCAMILLA HERRERA, CLEMENCIA SANTOS CERQUERA. (2009). "El Suelo de Conservación del Distrito Federal", México: Instituto de Geografía-PUUC-UNAM. (Informe técnico)
- AGUILAR A. G. e I. ESCAMILLA (coords.) (2009). *Periferia urbana, deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*, México: Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México, Miguel Ángel Porrúa, (Serie Estudios Urbanos). 399 pp.

- (coords.) (2011). *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades*, México, Cámara de Diputados, Instituto de Geografía-UNAM, Miguel Ángel Porrúa Editor, Colección Conocer para Decidir. 525 pp.
- (coords.) (2013). *La sustentabilidad en la Ciudad de México. El Suelo de Conservación del Distrito Federal*, México: Instituto de Geografía, Programa Universitario del Medio Ambiente-UNAM, CONACYT.
- AGUILAR A. G. y C. SANTOS (2011). "Informal Settlements' needs and environmental conservation in Mexico City: An unsolved challenge for land use policy", *Land Use Policy*, 28, 649-662.
- AGUILAR, A. G. y F. LÓPEZ, (2009). "Water insecurity among the urban poor in the peri-urban zone of Xochimilco, México City", in *Journal of Latin American Geography*, 8 (2) 2009, 97-123.
- AGUIRRE GÓMEZ, R. (coord.) (2010). *Estudios sobre los remanentes de cuerpos de agua en la Cuenca de México*, México: Instituto de Geografía-UNAM, Colec.: Geografía para el siglo XXI, Serie: Libros de investigación, núm. 7. 111 pp.
- BELTRÁN, E. (1963). "Los problemas del valle de México", en *Mesas redondas sobre problemas del valle de México*, México: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, 341-370.
- BERNAL, I. (1983). "Interpretación de la fundación de Tenochtitlan", *De Teotihuacán a los Aztecas. Antología de fuentes e interpretaciones históricas*, México: Lecturas Universitarias, UNAM, núm. 11, 243-246.
- CONTRERAS, V., E. MARTÍNEZ, E. VALIENTE, L. ZAMBRANO (2009). "Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*)", *Biological Conservation*, 142, 2881-2885.
- DDF (s/f) *Planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella*, México, Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Obras, Dirección General de Construcción y operación Hidráulica.
- Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (DGCORENADER) (2006). *Programa de manejo del área natural protegida "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco"*, México.
- EZCURRA E., M. MAZARI-HIRIART, I. PISANTY y A. G. AGUILAR (1999). *The Basin of Mexico. Critical environmental issues and sustainability*, United Nations University Press. 216 p.
- EZCURRA, E., M. MAZARI-HIRIART, I. PISANTY y A. G. AGUILAR (2006). *La Cuenca de México*, México: Fondo de Cultura Económica. 286 pp. (Colección Ciencia y Tecnología).
- Gaceta Oficial del D.D.F. (1980). *Plan de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*, Nivel Normativo, 24 de enero de 1980.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF) (2007). *Programa General de Desarrollo 2007-2012 (PGDUDF 2007)* (pdf).
- ASA *Agenda de Servicios Ambientales de la Zona Metropolitana del Valle de México*, México, Programa de Medio Ambiente 2007-2012.
- (2008) *Plan verde Ciudad de México*, México.
- GONZÁLEZ, A. (2009). "Las chinampas de Xochimilco: periferia ancestral en peligro" en Aguilar, A. G. e I. Escamilla (coords.) *Periferia urbana, deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*, México: Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México, Miguel Ángel Porrúa, 273-289. [Serie Estudios Urbanos].
- GONZÁLEZ, C. J. (comp.) (1992). *Chinampas prehispánicas*, México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Antologías-Serie Arqueología.

- GURRÍA LACROIX, J. (1978). *El desagüe del valle de México durante la época novohispana*, México: Instituto de Investigaciones Históricas-UNAM.
- GUTIÉRREZ DE MACGREGOR, M. T. y J. GONZÁLEZ S. (2010). "Capítulo 1. Evolución del crecimiento espacial de la Ciudad de México en relación con las regiones geomorfológicas de la Cuenca de México", en Aguirre, R. *Estudios sobre los remanentes de cuerpos de agua en la Cuenca de México*. México: Instituto de Geografía-UNAM, Colec. Geografía para el siglo XXI, Serie: Libros de investigación, núm. 7, 15-39.
- GUTIÉRREZ DE MACGREGOR, M. T., J. González S. y J. J. Zamorano O. (2005). *La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales*, Temas selectos de Geografía de México (I.8.1), México: Instituto de Geografía, UNAM.
- INEGI (1990, 2000, 2010) *XI, XII y XIII Censos generales de población y vivienda, 1990, 2000 y 2010*, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- (2005). *Conteo de Población y Vivienda 2005*, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- LEÓN PORTILLA, M. (1975). "La fundación de México-Tenochtitlan", *México-Tenochtitlan, 1325-1975*, México: Departamento del Distrito Federal.
- (1983). (2ª. ed.) *De Teotihuacán a los Aztecas. Antología de fuentes e interpretaciones históricas*, México: UNAM.
- LOMBARDO, S. (1987 a). "Orígenes y evoluciones de la ciudad de México: siglos XV, XVII XVIII y XIX", en *Atlas de la Ciudad de México*, México, Departamento del Distrito Federal, El Colegio de México, 45-47.
- (1987 b). México-Tenochtitlan en 1519, en *Atlas de la Ciudad de México*, México, Departamento del Distrito Federal, El Colegio de México, 47-50.
- LÓPEZ, M., M. G. RAMOS, P. MARTÍNEZ y A. FLORES (2010). "Capítulo 2. Eutroficación y restauración de la calidad del agua de los canales de Xochimilco" en Aguirre, R. *Estudios sobre los remanentes de cuerpos de agua en la Cuenca de México*, México: Instituto de Geografía-UNAM, Colec. Geografía para el siglo XXI, Serie: Libros de investigación, núm. 7, 41-53.
- MANZANILLA, L. y M. C. SERRA (1987). "Aprovechamiento de recursos de origen biológico en la Cuenca de México (2500 antes de Cristo-1500 después de Cristo)", *Geofísica Internacional*, núm. 26, 15-28.
- MARTÍNEZ, O, H. LIBREROS, J. MONTESILLO, R. LÓPEZ y G. ORTÍZ, (2004). *Gestión del agua en el Distrito Federal*, México: Programa Universitarios de Estudios sobre la Ciudad, 199 pp.
- MOOSER, F. (1975). "Historia geológica de la Cuenca de México", en *Memoria de las obras del drenaje profundo del Distrito Federal*, Tomo I, México: Departamento del Distrito Federal. 7-38.
- OROZCO Y BERRA, M. (1864). *Memoria para la carta hidrográfica del Valle de México*, Boix, México.
- PAOT (2003). *Asentamientos irregulares en el suelo de conservación del Distrito Federal* Disponible en: www.paot.org.mx/centro/temas/suelo/docpaot/asentamientos.pdf
- PAOTDF (2005). "Elementos para una gestión adecuada del suelo de conservación del Distrito Federal", *Documento de Trabajo*, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, Ciudad de México, 37 pp.
- PÉREZ CAMPUZANO E., M. PEREVOCHTCHIKOVA, y S. AVILA FOUCAT (2011) (coord.) *Suelo de Conservación del Distrito Federal. ¿Hacia una Gestión y Manejo Sustentable?*, México: Instituto Politécnico Nacional, Miguel Ángel Porrúa, 246 pp.
- Plan Hídrico de las subcuencas Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico* (2011). México: UAM, Fundación Gonzalo Río Arronte.

- ROJAS RABIELA, T. (comp.) (1983). *La agricultura chinampera. Compilación histórica*, México, Universidad Autónoma de Chapingo, Colec. Cuadernos Universitarios, Serie Agronomía, núm. 7.
- SALAZAR TORRES, C. (2011). "La inundación en el sur de la cuenca de México a través de la imagen cartográfica (1866-1869)", *Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas* [en línea], XXXIII (Sin mes). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36921103003>. ISSN 0185-1276
- SCHTEINGART, M. y SALAZAR C. (2005). *Expansión urbana, sociedad y ambiente*, México: El Colegio de México, 201 pp.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (1998). *Estudio de caracterización y diagnóstico de asentamientos humanos en la barrancas del Distrito Federal*, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. México.
- SEPÚLVEDA y H, M. T. (1991). "El tributo real en la Matrícula de Tributos", en Castillo Farreras, V.M. (ed.) *La Matrícula de Tributos. Nuevos estudios*, México: Instituto de Investigaciones Históricas-UNAM y Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- SHEINBAUM PARDO, C. (2008). *Problemática ambiental de la Ciudad de México. Diagnóstico y experiencias de gestión 2001-2006*, México: Editorial Limusa, 309 pp.
- SHEINBAUM PARDO, C. (2011). "La compleja problemática del suelo de conservación del Distrito Federal: apuntes para su conservación", en Pérez Campuzano, E., M. Perevochtchikova, y S. Avila Foucat (2011) (coord.) *Suelo de Conservación del Distrito Federal. ¿Hacia una gestión y manejo sustentable?*, México: Instituto Politécnico Nacional, Miguel Ángel Porrúa, 13-38.
- VON HUMBOLDT, A. [1822] [973] *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*, México: Ed. Nacional, Luis Alberto Sánchez (Colec. económica, 756).
- WOLFER, J. (1975). "La hidrología" en *Memoria de las obras de drenaje profundo del Distrito Federal*, Tomo I, México: Departamento del Distrito Federal, 51-61.
- ZAMBRANO, L., E. VALIENTE, M. J. VANDER (2010). "Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: car (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City", *Biological Invasions*, Vol. 12, 9, September, 3061-3069.

Páginas electrónicas

- <http://www.cronica.com.mx/notas/2012/692223.html> "Construirán megaparque temático en Tláhuac para mitigar afectaciones de Línea 12"
- <http://mexicomaxico.org/Tenoch/TENOCH%20Loc/TenochLoc.htm>

Descubriendo un complejo de humedales único en el centro de la Península Ibérica: las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava

Rafael Ubaldo Gosálvez Rey¹, Montserrat Morales Pérez²,
Elena González Cárdenas³, Máximo Florín Beltrán⁴

Resumen: En este trabajo se estudian las únicas lagunas de origen volcánico de la Península Ibérica, aportando el primer catálogo completo (68 lagunas) y analizándose desde la geomorfología. El hidrovulcanismo explica la génesis de estas lagunas que ocupan depresiones circulares a elípticas, con un diámetro interior promedio de 498.4 ± 227.7 m y un diámetro exterior de 1078.2 ± 450.5 , presentando pendientes suaves hacia el exterior y más marcadas hacia el interior. En cuencas sedimentarias o en piedemontes estas depresiones suelen ser más amplias y someras, estando delimitados por anillos de tobas bien desarrollados. En serratas paleozoicas son depresiones más estrechas, más profundas y con forma de embudo, pudiendo faltar parcial o totalmente los depósitos de tobas. Las relaciones radio-altura y radio-volumen de los distintas depresiones nos llevan a considerar a todas ellas como hidrovulcanes, siendo la mayor parte maeres s.s.

Palabras claves: catálogo, geomorfología, lagunas, maeres, península ibérica

Abstract: In this paper we study the only volcanic lakes of the Iberian Peninsula, providing the first complete catalog (68 shallow lake) and analyzed from the geomofology. The hydrovolcanism explains the genesis of these shallow lake with average inter diameter 498.4 ± 227.7 m and an outer diameter of 1078.2 ± 450.5 , presenting gentle slopes outwards and inwards sharper. In sedimentary basins or foothills these depressions are usually larger and shallow, being

¹ Profesor Asociado. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio (Universidad de Castilla-La Mancha). Ciudad Real (España). rafaelu.gosalvez@uclm.es

² Colaboradora. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio (Universidad de Castilla-La Mancha). Ciudad Real (España). monsemora@hotmail.es

³ Profesora Titular. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio (Universidad de Castilla-La Mancha). Ciudad Real (España). elena.gonzalez@uclm.es

⁴ Profesor Titular. Grupo de Investigación en Hidroecología. Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Universidad de Castilla-La Mancha). maximo.florin@uclm.es

bounded by well developed tuff rings. Depressions in sierra paleozoic narrower, deeper and funnel-shaped, and may partially or completely missing tuff deposits. Relations radius-height and radius-volume of different depressions lead us to consider all of them as hydrovolcanoes, being most maeres ss

Keywords: list, geomorfology, shallow lake, maar, Iberian peninsula

INTRODUCCIÓN

Existe una amplia gama de procesos responsables de la aparición de formas susceptibles de albergar encharcamientos en la superficie terrestre. Uno de los primeros intentos de sistematizar los procesos genéticos de las lagunas de la Península Ibérica fue el propuesto por Terán *et al.* (1978), basándose para ello en la clasificación morfogenética para los lagos norteamericanos propuesta por Hutchinson en 1957 (lagos endógenos, exógenos y mixtos).

La elaboración del primer inventario nacional de humedales por parte de la Dirección General de Obras Hidráulicas (1990) supuso la adopción también de una clasificación de los procesos genéticos en la línea de la propuesta por Hutchinson, aunque llega a profundizar más en las posibles causas.

Sanz Donaire y Díaz Álvarez (1992) propusieron una nueva clasificación basada en la utilización de cuatro criterios de ordenación: origen, procesos, características de la sedimentación y grado de actividad, aunque solo desarrollaron los procesos eólicos y kársticos.

En cualquier caso, todas estas clasificaciones genéticas de las lagunas analizan muy tangencialmente e incluso con errores conceptuales aquellas lagunas de origen volcánico presentes en el ámbito peninsular ibérico.

Las lagunas volcánicas se incluyen en el ámbito genético de los procesos naturales endógenos, aquellos que están relacionados con las manifestaciones superficiales de la geodinámica interna del planeta (tectónica y volcanismo).

Este tipo de procesos han jugado un papel clave en la configuración de cubetas encharcables en el Campo de Calatrava, en el centro de la Península Ibérica. La acción de la tectónica, materializada en esfuerzos de tensión entre las placas euroasiática y africana en el sur peninsular, se resuelve en el Campo de Calatrava con la aparición de un complejo y variado volcanismo en el Cenozoico. Las formas volcánicas generadas repercuten en el paisaje hasta el punto de convertirse en uno de los rasgos definitorios del relieve de este espacio geográfico (García Rayego, 1995, p. 49), extendiéndose por un amplio territorio (→5000 km²).

Aunque la primera referencia científica sobre la existencia de volcanes en el Campo de Calatrava se remonta a finales del siglo XVIII (Bowles, 1775), habrá que esperar a Hernández Pacheco (1932) para relacionar la presencia de lagunas en el Campo de Calatrava con la actividad volcánica.

Sin embargo, será Ancochea (1983) quien realice el primer estudio detallado de los maeres del Campo de Calatrava, identificando cuarenta y seis lagunas y depresiones con este origen, otorgando gran importancia a los maeres como estructura muy característica de esta región volcánica, pues supondrían del orden del 25% de todos los centros eruptivos reconocidos.

Desde la década de 1990 serán los trabajos de geógrafos como González Cárdenas (1992, 1996a y b), González Cárdenas y García Rayego (1994 y 2000), González Cárdenas *et al.* (2000) y Poblete Piedrabuena (1993, 1994, 1997, 2000, 2001) los que aborden los aspectos geomorfológicos del volcanismo del Campo de Calatrava y los que revisen la génesis de las depresiones estudiadas por Hernández Pacheco (1932) y Ancochea (1983) y de otras muchas que no habían sido tenidas en cuenta hasta la fecha.

Dentro de los diversos mecanismos eruptivos desarrollados en el Campo de Calatrava, el hidrovulcanismo es el más destacado por las repercusiones geocológicas que introduce en el territorio en forma de encharcamientos de agua temporales (lagunas) que aparecen en los fondos de cráteres de explosión hidrovulcánicos (*maares*).

El objetivo del presente trabajo es abordar el análisis genético de las lagunas volcánicas ibéricas y presentar un catálogo actualizado de las lagunas actualmente funcionales que se adscriben a esta tipología, concentradas hoy exclusivamente en el Campo de Calatrava en el ámbito peninsular ibérico.

LAGUNAS VINCULADAS AL VOLCANISMO RECIENTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

En la Península Ibérica se han identificado cuatro áreas principales de volcanismo reciente, entendiéndose como tal a aquel desarrollado en el Cenozoico. Estas áreas son la de Girona, la del Campo de Calatrava, la de Almería-Murcia y la del Levante (Ancochea, 2004; Figura 1), integradas a su vez en la llamada Provincia Volcánica Cenozoica Europea (Foulger y Meyer, 2007). Se trata de regiones volcánicas que en comparación con otras del planeta presentan una gran variedad litológica (Ancochea, 2004, p. 672).

Fig. 1: Localización de las áreas de volcanismo cenozoico de la Península Ibérica.



Tomado de Ancochea, 2004, p. 671.

Aparecen así rocas calcoalcalinas, calcoalcalinas potásicas, shoshoníticas, ultraalcalinas, ultrapotásicas y alcalinas, que en la mayor parte de los casos dan lugar a pequeños edificios monogénicos, formados en erupciones efusivas, estrombolianas o hidromagmáticas en el caso de los magmas alcalinos y ultraalcalinos; conos y domos monogénicos en los magmas ultrapotásicos y edificios complejos, poligénicos, con desarrollo de calderas en los magmas calcoalcalinos (Ancochea, 2004, p. 672). De todos ellos, son los edificios relacionados con el hidrovulcanismo alcalino los que generan depresiones topográficas que permiten la acumulación de agua en su interior.

Una vez identificadas las regiones volcánicas cenozoicas de la Península Ibérica, el siguiente paso es determinar las lagunas existentes en cada una de ellas. Así, las principales masas de agua naturales reconocidas en la *región volcánica de Girona* son el Estany de Banyoles y varios estanyoles vinculados a este, la Platja de Espolla y el complejo localizado entorno a Sant Miquel de Campmajor, atribuyéndose a todos ellos una génesis kárstica (Casado y Montes, 1995, p. 81).

Se ha observado también la presencia de depósitos de origen lacustre que indican un pasado de humedales relacionados con el represamiento de arroyos o ríos por parte de conos de piroclastos o coladas de lava. En el primer caso, hay que destacar los depósitos lacustres de interferencia producidos por los volcanes Estany y Bellare, Santa Margarida, Puig de la Medes, Puig Moner o Puig de Adri (Pujadas *et al.*, 1997; Martí *et al.*, 2001). En el caso de interferencia por coladas de lava, destaca una antigua zona de encharcamiento en el río Fluvià en el área de Vall d'en Bas, por la colada de la Fageda d'en Jordà, emitida por el volcán del Croscat. En el siglo XVIII este llano lacustre se drenó con fines agrícolas (Martí *et al.*, 2001).

Finalmente, cabe mencionar la existencia de un número reducido de maeres que, aunque han podido albergar agua en el pasado, actualmente no lo hacen por haber sido drenados para la agricultura, tratándose de los maeres de Racó, El Cairat, la Crosa de Sant Dalmai o Clot de l'Olmera, entre otros.

En la *región volcánica del Levante* no se ha detectado ninguna masa de agua natural en esta zona volcánica; mientras que en la *región volcánica de Almería-Murcia* el Plan Andaluz de Humedales (Montes y González-Capitel, 2002) y el inventario de humedales de la Región de Murcia (Ballester *et al.*, 2003) no han reconocido en este ámbito territorial lagunas de génesis volcánica.

En la *región volcánica del Campo de Calatrava* aparece un complejo palustre compuesto por más de sesenta lagunas vinculadas, como se verá, con la actividad volcánica por lo que será en esta zona sobre la que se centre la investigación.

METODOLOGÍA

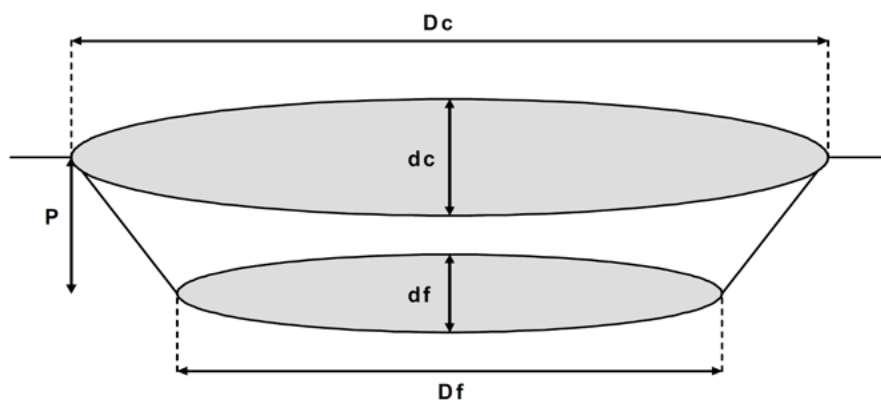
El establecimiento del catálogo de las lagunas del Campo de Calatrava se ha basado en la búsqueda de información previa en documentación histórica (Libro de la Montería de Alfonso XI, Relaciones Histórico-Geográficas de Felipe II, Respuestas Generales del Catastro del Marqués de la Ensenada, Descripciones del Cardenal Lorenzana, Diccionario Madoz y Diccionario Hervás y Buendía), cartográfica (mapas topográficos del IGN y del SGE a escala 1:50.000 y 1:25.000 y mapa geológico MAGNA-50), inventarios y catálogos previos (Catálogo de los lagos de España de L. Pardo, Plan Hidrológico

Cuenca del Guadiana, Velayos *et al.* 1989, Inventario DGOH 1990 y el Inventario del CI-DAHM 1999) y se ha contrastado mediante entrevistas con la población local.

A partir de fotografías (vuelo interministerial de 1978) y ortofotografías aéreas (PNOA 2006) se han elaborado una serie de esquemas geomorfológicos que han servido de base para aplicar un estudio morfológico y morfométrico de las formas de los mares capaces de acumular agua seleccionados.

Para el análisis morfométrico se han tenido en cuenta los parámetros cuantitativos propuestos por Head *et al.* (1981), Sheridan y Wohletz (1983), Fisher y Schmincke (1984), Cas y Wright (1987) y De la Nuez *et al.* (1997) para el estudio de cráteres volcánicos y de explosión, a los que se han añadido una serie de parámetros propuestos por Dóniz Páez (2009) para volcanes basálticos monogénicos (conos de piroclastos) de la isla de Tenerife cuyo uso ha sido adaptado aquí a los cráteres de explosión analizados en el Campo de Calatrava (Figura 2). Los parámetros morfométricos han sido calculados a través de un Sistema de Información Geográfica bajo licencia (Arc GIS 9.3.).

Fig. 2: Parámetros morfométricos tenidos en cuenta en el estudio de los cráteres de explosión hidromagmáticos del Campo de Calatrava.



Dc= Diámetro mayor del cráter; dc=Diámetro menor del cráter; Df= Diámetro mayor del fondo del cráter; df=Diámetro menor del fondo del cráter; P=Profundidad máxima.

Elaboración propia. Fuente: Lorenz, 1973 y Dóniz, 2009.

Finalmente, se ha empleado como herramienta que ayuda a la clasificación genética los diagramas propuestos por Head *et al.* (1981) y que han sido empleados con posterioridad por Fisher y Schmincke (1984) y Cas y Wright (1987) y De la Nuez *et al.* (1993 y 1997) que ponen en relación el radio del cráter y la altura/profundidad y el radio del cráter y el volumen del edificio.

CATÁLOGO DE LAS LAGUNAS VOLCÁNICAS IBÉRICAS

Las fuentes históricas consultadas proporcionan escasas referencias sobre las lagunas volcánicas ibéricas, lo que puede indicar una escasa vinculación de la población local a pesar de que constituyen una fuente potencial para la obtención de numerosos recursos. En cualquier caso estas fuentes sí muestran el uso de algunos de

estos enclaves como lugar para obtener pastos (Laguna Blanca), caza (La Carrizosa) y aguas medicinales (La Inesperada).

A partir del siglo XVIII las lagunas comienzan a ser interpretadas como un problema grave de salud pública, al ser consideradas como vector de enfermedades como el paludismo (Díaz Pintado, 1990), lo que llevó a la promoción de diversas obras de drenaje y desecación. Ya en el siglo XX, la obtención de tierras para el cultivo terminó por extender estas prácticas de drenaje por todo el territorio. Las lagunas que se vieron más afectadas fueron las situadas cerca de poblaciones humanas.

De la información que proporciona la cartografía publicada en nuestro país a lo largo del siglo XX sorprende el hecho de que lagunas de grandes dimensiones como la de Cañada de Calatrava o La Laguna de Moral de Calatrava pasen desapercibidas a los cartógrafos y topógrafos y no queden recogidas en muchos de los documentos consultados.

Por último, los inventarios de lagunas y humedales realizados por organismos oficiales o centros de investigación son los que proporcionan una información más completa. En cualquier caso, hay que señalar que la totalidad de los trabajos consultados son incompletos, tanto en lo referente al catálogo en sí como a la información recogida individualmente para cada laguna.

Sin lugar a dudas, son los trabajos de Velayos *et al.* (1989) y de la DGOH (1990) los más interesantes, aunque los años en que se realizaron ambos no permitieron a sus autores recoger todas las características de estas lagunas, debido a que la mayoría se encontraban secas.

Los resultados de las distintas fuentes consultadas han sido contrastados posteriormente con observaciones de campo y entrevistas con habitantes del entorno, de manera que se ha podido obtener el inventario de las lagunas de la región volcánica del Campo de Calatrava, totalizando 68 localidades con una superficie global de 1384.8 ha (cuadro 1). De todas ellas se han seleccionado 27 lagunas para un seguimiento intensivo y para los análisis presentados aquí.

Fig. 3: Lagunas volcánicas ibéricas. *Arriba:* Laguna de la Posadilla, típica de sierra; *en medio:* Laguna de La Carrizosa, típica de piedemonte; *abajo:* Laguna de Las Cucharas, típica de cuenca sedimentaria.



Cuadro 1: Catálogo provisional de las lagunas del Campo de Calatrava
Celdas sombreadas: lagunas seleccionadas para su seguimiento.

Nombre	UTM X	UTM Y	Altitud	Municipio	S (ha)
Acebuche	420028	4294070	735	Almagro	37
Alberquilla	411026	4273246	838	Mestanza	21
La Albuera	418042	4314455	630	Ciudad Real	0
Los Almeros	400887	4291811	641	Villamayor de Cva.	47.5
Almodóvar	398784	4285050	664	Almodóvar del Campo	19.4
Argamasilla	426484	4305969	620	Pozuelo de Calatrava	19
Blanca	405798	4290348	667	Argamasilla de Cva.	36.4
Bú	402957	4317356	700	Alcolea de Calatrava	19.7
Calderón	451333	4295979	675	Moral de Calatrava	16.9
La Camacha	403917	4320544	662	Alcolea-Picón	25.9
Canito	437701	4280339	675	Calzada de Calatrava	9.5
Cañada de Calatrava	409988	4299469	668	Cañada de Calatrava	61.9
Cañada 1	451711	4283229	680	Santa Cruz de Mudela	1.7
Cañada 2	452074	4282851	680	Santa Cruz de Mudela	2.2
Cañada 3	452618	4282387	680	Santa Cruz de Mudela	1.6
Cañavete	441584	4297352	665	Almagro	1
Caracuel	407406	4298359	675	Caracuel de Calatrava	66.7
Las Carboneras	417906	4290233	780	Argamasilla de Cva.	18.8
Carrizosa	392257	4300017	680	Cabezarados	25.6
Casar	452651	4283541	675	Santa Cruz de Mudela	2.8
Las Casas	414477	4320981	625	Ciudad Real	6.4
La Cava	423275	4313093	630	Miguelturra	0
La Celada	416684	4319026	619	Ciudad Real	8.7
Celadilla	428567	4311824	635	Pozuelo de Calatrava	54.8
Cervera	427019	4294809	780	Almagro	6.1
Charco de Siles	457403	4308867	655	Manzanares	4.5
Cornudilla	432083	4296745	728	Valenzuela de Cva.	3.8
Las Cucharas	400572	4290240	647	Villamayor de Cva.	109.5
La Dehesa	387538	4302634	682	Cabezarados	4.4
La Encina	421472	4290224	749	Aldea del Rey	6.1
Lagunilla del Fraile	402493	4334617	635	Porzuna	0
Los Garbanzos	389147	4300420	688	Cabezarados	18.2
Hoya de Los Muertos	407082	4297091	669	Villamayor de Cva.	9.9
La Inesperada	427796	4308296	624	Pozuelo de Calatrava	55.6
Juagarzual	451579	4272147	745	Viso del Marqués	7
La Laguna	450591	4296774	665	Moral de Calatrava	83.9
La Laguna	401469	4319854	679	Piedrabuena	14.6
Los Lomillos	418575	4288954	752	Argamasilla de Cva.	20.4
Michos	382266	4313256	668	Abenójar	19.1
Nava de Enmedio	421468	4336979	628	Malagón	50.1

Continuación cuadro

Nombre	UTM X	UTM Y	Altitud	Municipio	S (ha)
Nava Grande	418954	4337301	624	Malagón	122.9
Nava Pequeña	422869	4336485	632	Malagón	20.3
Navajo de Almagro	436915	4301740	675	Almagro	6
Navajuelos	436655	4286637	665	Santa Cruz de Mudela	1.3
Navalagrulla	444894	4286873	705	Granátula de Cva.	9.7
Navazo de Abenójar	386257	4304833	678	Abenójar	1.8
Peñalagua	416781	4312000	640	Ciudad Real	3.9
Peñarroya	402753	2310338	685	Corral de Calatrava	36.4
La Posadilla	408786	4310674	640	Ciudad Real	15.1
Perabad	406023	4296140	668	Villamayor de Cva.	10.5
Perdiguera	391533	4304885	714	Cabezarados	21.1
Perabad	406023	4296140	668	Villamayor de Cva.	10.5
Perdiguera	391533	4304885	714	Cabezarados	21.1
Prado de los Morales	399291	4292761	648	Villamayor de Cva.	6.3
Saladilla	400536	4292364	646	Villamayor de Cva.	3.4
El Rape	435479	4301627	665	Almagro	7.3
Retamar	391886	4279741	710	Brazatortas	10
Rodeo	422275	4313000	630	Miguelturra	0
Romaní	424377	4323368	606	Carrión de Calatrava	13.5
Salobral	449452	4297299	668	Moral de Calatrava	3.2
Tablas de Poblete	414246	4310879	604	Poblete	83.5
Terrero	423275	4313093	630	Miguelturra	0
Tiracalzas	441063	4300211	725	Almagro	7.4
Torrova	441000	4315500	617	Almagro	8.7
Urrea	436488	4283350	665	Calzada de Calatrava	0
Valdelobos	416452	4331311	705	Fernán Caballero	0.2
Valparaíso	376887	4317221	505	Luciana	0.7
Valparaíso	376631	4316853	505	Luciana	3.1
Viñas del Agua	447637	4296991	675	Moral de Calatrava	47.5
Zahurdones	407765	4313737	625	Ciudad Real	23.3
68 LAGUNAS			Rango altitudinal 505-838 m		1384.8

Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS LAGUNAS VOLCÁNICAS

La distribución espacial de las lagunas catalogadas en el Campo de Calatrava no es debida al azar, disponiéndose por el contrario, según una red ortogonal (Figura 4) que responde a pautas tectónicas de orden regional, semejantes a las descritas para el volcanismo calatravo (Ancochea Soto, 1983; Poblete Piedrabuena, 1994; Rincón-Calero, 1999; González Cárdenas *et al.*, 2000; Gallardo Millán, 2005). Estas alineaciones

tectónicas presentan dos direcciones principales, NO-SE y NE-SO, acompañadas de otras de orden menor y componente principal N-S.

Un hecho relevante añadido es que en la intersección de las líneas de fractura principales se observa la concentración de un mayor número de lagunas, destacando los complejos palustres de las Navas de Malagón, Alcolea de Calatrava, Cabezarados, entorno de Villamayor de Calatrava, Macizo de Calatrava o el complejo palustre de Moral de Calatrava (Figura 4).

Estas familias de accidentes tectónicos se relacionan con la tectónica varisca que rompe y fractura el zócalo, siendo reactivadas posteriormente o produciéndose nuevos accidentes tectónicos por la orogenia alpina de la Cordillera Bética y por la neotectónica (Rincón Calero, 1999; Gallardo, 2005).

Belousov (1979) vincula este tipo de ordenaciones estructurales con el comportamiento mecánico de un cuerpo sometido a tensiones tangenciales de tracción y compresión, dando como resultado fisuras ortogonales entre sí (45°) respecto a los ejes de los esfuerzos tectónicos, con rumbos principales en este caso NO-SE y NE-SO.

En estos alineamientos tectónicos hay que buscar también los condicionantes hidrológicos sin los cuales hubiera sido imposible la interacción del magma ascendente con agua ajena al sistema volcánico calatravo en el ámbito de las serratas paleozoicas, aparentemente sin interés hidrogeológico a priori.

Si bien en un principio son los materiales detríticos y carbonatados que conforman las cuencas sedimentarias los más óptimos para almacenar agua en forma de acuíferos que interactúen luego con el magma, también las litologías ordovícicas (cuarcitas, pizarras y areniscas) a pesar de ser consideradas tradicionalmente como impermeables, son capaces de albergar acuíferos locales debido a la intensa fracturación que afectó a la competencia de estos materiales en los movimientos orogénicos.

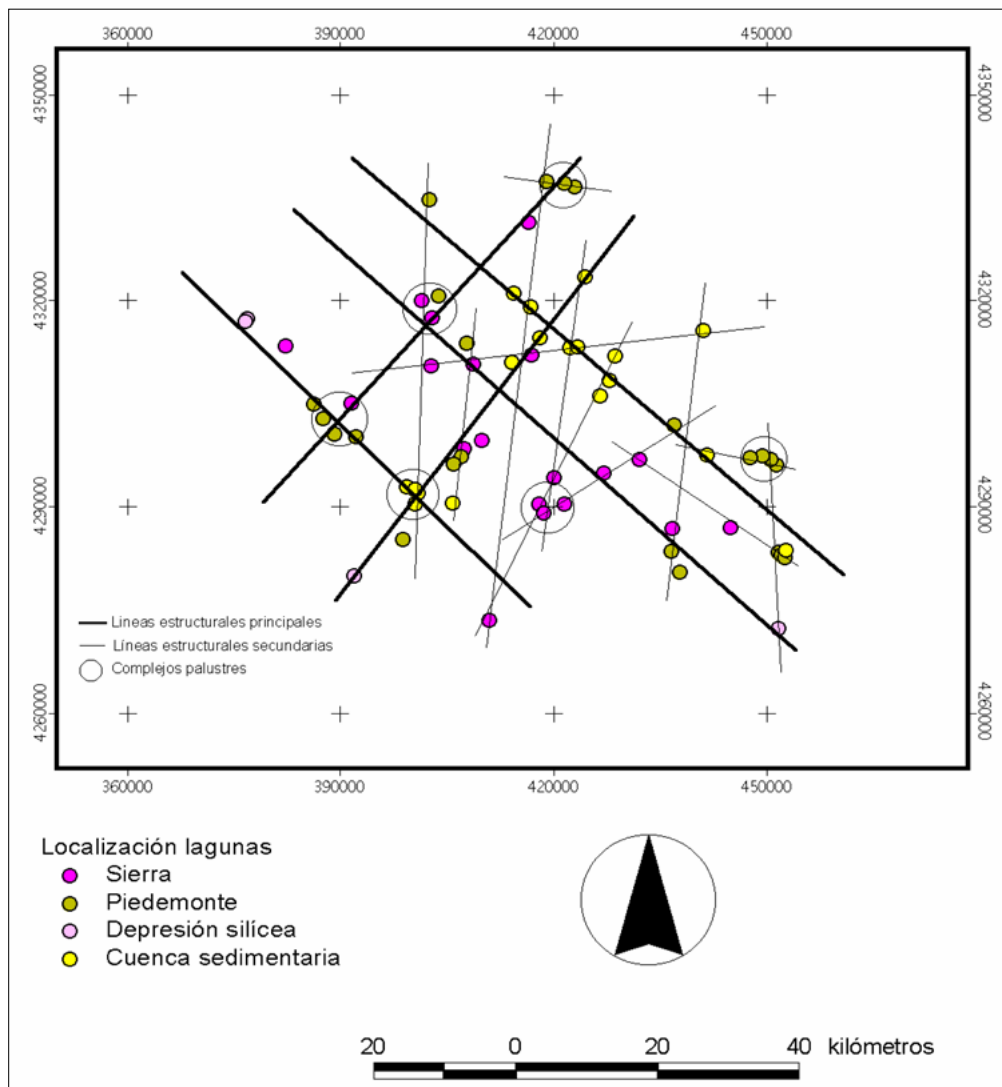
Las rocas situadas en los planos de falla se encuentran literalmente trituradas como consecuencia del dinamismo de la propia falla, generando un medio más poroso que el original que se comporta como un acuífero local. Si se tiene en cuenta que en superficie una falla tiene un radio de acción métrico y una profundidad considerable (decenas a centenares de metros), se puede intuir que el volumen de material poroso susceptible de almacenar agua puede ser relativamente importante (Rincón Calero, 1995).

HIDROVOLCANISMO: MECANISMO, MORFOLOGÍAS Y DEPÓSITOS RESULTANTES

El hidrovulcanismo hace referencia a los procesos físicos y químicos que ocurren cuando el magma o un foco de calor magmático son interferidos por una acumulación de agua ajena al sistema volcánico (Sheridan y Wohletz, 1983). En el caso del Campo de Calatrava, el magma interactúa con agua subterránea principalmente. Este contacto agua-magma responde a un mecanismo estudiado en procesos industriales y reactores nucleares, conocido como *fuel-coolant interactions* (Wohletz, 1993).

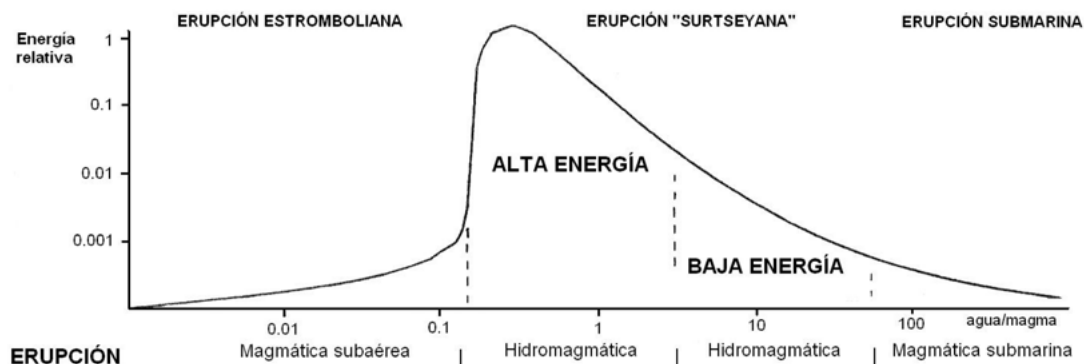
El factor que controla la efectividad de la interacción agua-magma y la variedad de morfologías y de depósitos resultantes en las erupciones hidrovulcánicas depende de la forma de contacto entre el magma y el agua y de la relación de masa que se establece entre ambas sustancias (Figura 5).

Fig. 4: Directrices estructurales, localización de lagunas y complejos palustres en el Campo de Calatrava.



Elaboración propia.

Fig. 5: Relaciones de masa agua-magma y principales morfologías hidrovolcánicas



Tomado de De la Nuez *et al.*, 1997, p. 37.

Experimentos de laboratorio muestran que para la conversión eficiente de la energía térmica en energía mecánica, la ratio masa magma/agua debe estar entre 0.1 y 0.3, dando lugar a explosiones muy violentas y a la formación de maars con anillos de tobas (tuff rings).

El resultado morfológico de las erupciones hidrovolcánicas es la apertura de una depresión y la formación, no siempre bien marcada, de un depósito anular compuesto de material fragmentado procedente de la roca de caja y/o del propio magma (anillo o cono de tobas). A esta depresión y sus depósitos asociados se le conoce con el nombre de *maar* (Figura 6).

Hay que indicar que a la hora de definir un *maar* se pueden emplear criterios morfológicos, genéticos y litológicos, por lo que las definiciones existentes en la bibliografía científica no siempre coinciden ni se entienden de la misma manera.

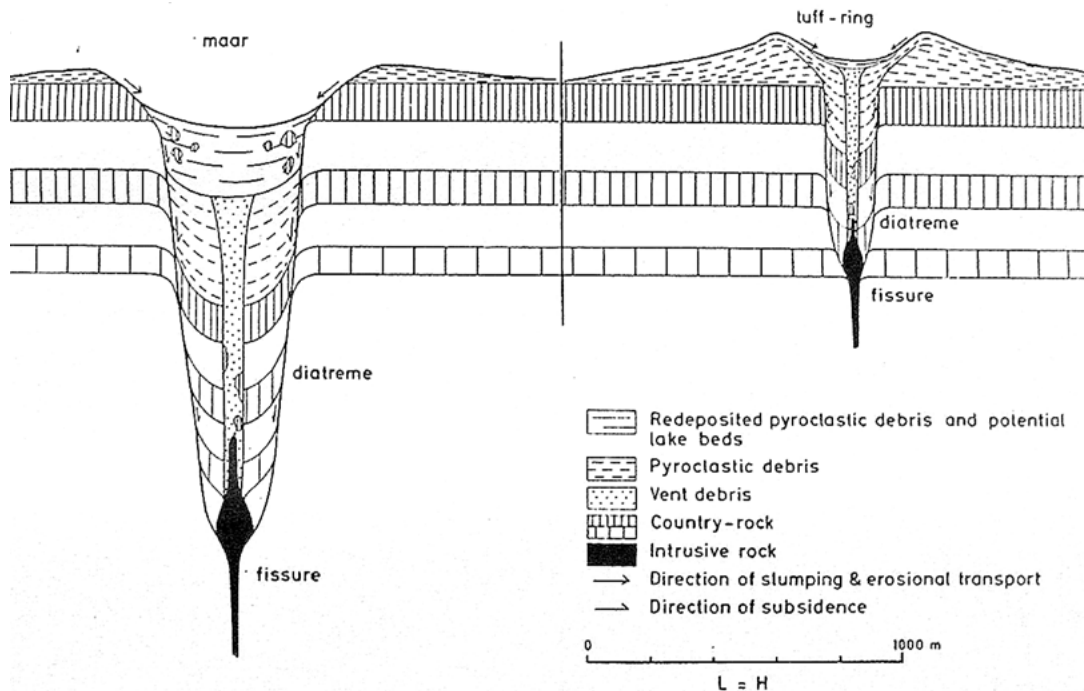
El término *maar* fue propuesto por Steininger en 1819, tratándose de una denominación local que proviene de la región de Eifel (Alemania), siendo una variante local del término alemán *meer* (mar, océano). En Eifel, el término *maar* se utiliza para lagos localizados en maars, como por ejemplo *Pulvermaar* o *Meerfelder Maar*, pero también en cráteres de conos de piroclastos capaces de almacenar agua como *Windsbornmaar* o *Hinkelsmaar*.

En el Campo de Calatrava se pueden distinguir dos tipos de edificios hidromagmáticos (Figura 6):

- *Maar s.s.*: depresión subcircular, más ancha (100-2500 m) que profunda (2-500 m), resultado de erupciones con relaciones de masa agua-magma entre 0.1 y 1. Esta depresión se encuentra rodeada por un borde de material fragmentado procedentes generalmente de la roca de caja (80%), con pendientes inferiores a 20°, y cuya potencia no suele superar los 40 m.
- *Maar con anillo de tobas (Tuff rings)*: depresión que se diferencia del *maar s.s.* porque se encuentran rodeado de un borde anular más nítido, que puede sobrepasar

los 40 m de altura, con laderas externas que presentan pendientes superiores a 20°. En este caso la relación de masa agua-magma es elevada, por encima de 0.3. El anillo de tobas puede ser asimétrico, lo que puede deberse a la inclinación de los conductos de emisión o a su adaptación a la topografía preruptiva (Ancochea, 1983). Desde el punto de vista litológico, en los depósitos de los anillos de tobas aparece un mayor porcentaje de líticos magmáticos juveniles con respecto a los *maeres s.s.*

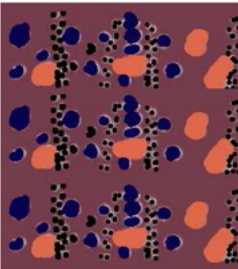
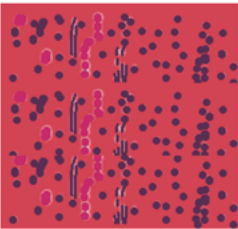
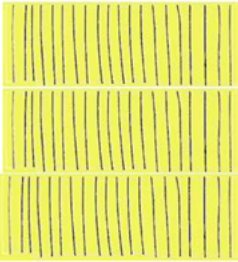
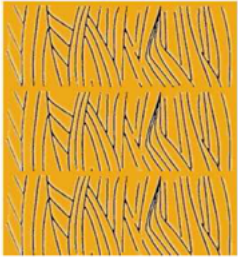




Fig. 6: Secciones esquemáticas de un maar s.s. y de un maar con anillo de tobas bien desarrollado



Tomado de Lorenz, 1973, p. 16

Cuando el contacto del magma con el agua en el Campo de Calatrava se produce en serratas paleozoicas, estas depresiones presentan paredes internas muy escarpadas y abruptas, con desniveles de hasta 160 m, presentando anillos de tobas incompletos o careciendo de ellos, e incluso a veces se encauzan por zonas topográficas previas deprimidas (valles) y/o litológicamente más débiles, constituyendo ejemplos prototípicos las lagunas de La Posadilla, Michos o Cervera.

Cuadro 2: Características de las formas de fondo (bed forms) comunes en los depósitos de tefra del Campo de Calatrava

Brecha de explosión	Masiva	Planar	Sandwave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradación normal ▪ Fragmentos emplazados balísticamente ▪ Fragmentos angulares procedentes de las paredes del conducto ▪ Moderadamente bien clasificado ▪ Estructura interna bien definida ▪ Aparecen grandes bloques y bombas ▪ Intercalaciones de lapilli de caída y capas de oleadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estructura interna débil o inexistente ▪ Mala granoselección ▪ Estructuras de erosión en la base ▪ Capas de más de 20 cm de espesor ▪ Estructuras de deshinchamiento ▪ Tamaños de grano finos y medios ▪ Alineaciones de cantos ▪ Aparecen también rellenando canales erosivos en U 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marcada estratificación plano-paralela ▪ Pueden aparecer capas masivas intercaladas ▪ Tamaños de grano gruesos ▪ Espesor medio de las capas de 2 cm ▪ Frecuente gradación inversa ▪ Ondulaciones de gran longitud de onda (> 10 m) ▪ Pueden presentar buzamientos acusados cerca del centro emisor 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estructuras laminares ▪ Capas de espesor milimétrico ▪ Tamaño de grano fino ▪ Laminación cruzada ▪ Estratificación festoneada ▪ Ripples ▪ Estructuras de tipo shoot-and-pool ▪ Antidunas ▪ Estratificación en sets
			
			

Fuente: Wohletz, 1993

Las depresiones hidroexplosivas labradas en cuencas sedimentarias, por su parte, presentan una zona central plana rodeada por rebordes pericratéricos con pendiente suave hacia el exterior y algo más marcada hacia el interior, presentando buzamientos divergentes periclinales. Cabe mencionar entre estos los maeres que alojan a las lagunas de La Inesperada, Romaní o La Celada.

Un tipo intermedio entre los cráteres de sierra y cuenca, compartiendo características de ambos, son los cráteres de explosión situados en los piedemontes, destacando las Navas de Malagón o las lagunas de Moral de Calatrava.

En cuanto a los depósitos que genera una erupción hidromagmática estos proceden de una columna eruptiva de escaso desarrollo en altura pero en cuya base se generan flujos laterales de baja concentración de partículas, de carácter turbulento y altamente expansivo, en los que la proporción de sólidos está subordinada a la de los gases y líquidos, desplazándose radialmente y a grandes velocidades desde el cráter. A estos flujos se les denominan *oleadas piroclásticas basales (base surge)* (Moore, 1967; Waters y Fisher, 1971), realizándose su deposición en torno a la boca del *maar*.

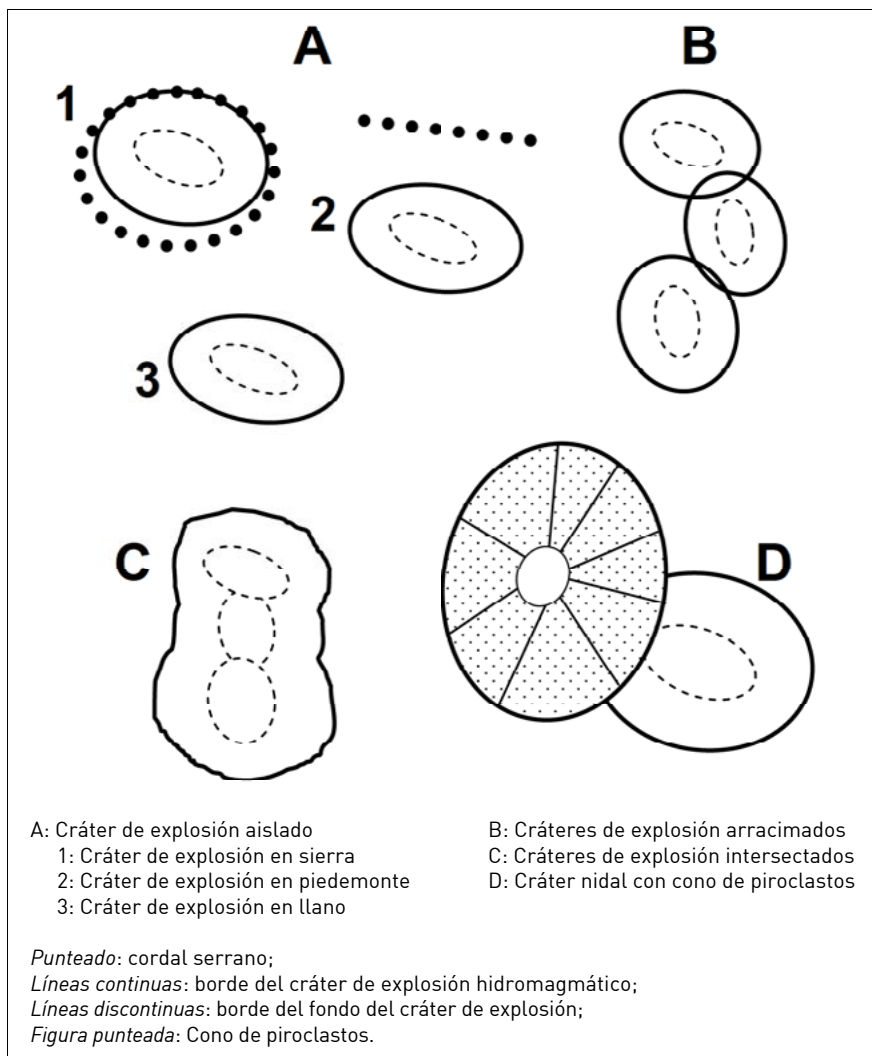
Las estructuras sedimentarias internas (*bed forms*) reconocidas en los depósitos de oleadas basales del Campo de Calatrava se pueden resumir en tres tipos principales (Wohtlez y Sheridan, 1979): estratificación cruzada (dunas, antidunas y *ripples*), masiva y laminar paralela, a los que se suman los depósitos de piroclastos de caída hidromagmáticos (brechas de explosión) [Cuadro 2].

ANÁLISIS MORFOLÓGICO Y MORFOMÉTRICO DE LOS EDIFICIOS HIDROMAGMÁTICOS DEL CAMPO DE CALATRAVA

Se ha establecido por primera vez una clasificación morfológica para los maeres con agua del Campo de Calatrava, diferenciándose cuatro tipos morfológicos principales: *cráteres de explosión aislados, arracimados, intersectados y nidales con cono de piroclastos*. A su vez, y dependiendo de su contexto geomorfológico, los cráteres de explosión aislados se han subdividido en tres subtipos: sierra, piedemonte y llano. Este modo de proceder ha permitido reconocer en total seis categorías morfológicas (Figura 7).

Esta diversidad morfológica se debe a la complejidad de los factores que intervienen en el proceso eruptivo, entre los que destacan el tipo y disposición de las fracturas de los materiales del zócalo, el estilo y evolución dinámica de la erupción, la intensidad del paroxismo, la acción del viento, el contexto hidrogeológico y los rasgos topográficos del área donde se desarrolla la erupción. Atendiendo a estos factores, los aparatos eruptivos estudiados pueden presentarse en cuencas amplias (llanos) o cerradas (sierra), pueden estar constituidos por un único edificio, por varios yuxtapuestos en función de la fracturación o pueden presentarse asociados a conos de piroclastos debido a las relaciones agua-magma que se establecen al entrar en contacto ambas sustancias.

Fig. 7: Tipos morfológicos de los cráteres de explosión hidromagmáticos del Campo de Calatrava.



Elaboración propia. Fuente: Poblete Piedrabuena (2001) y González Cárdenas (2002).

En el cuadro 3 se refleja la aplicación de esta clasificación morfológica para las localidades estudiadas. Dominan los cráteres de explosión simples localizados en sierras y piedemontes, que suman 14 enclaves repartidos equitativamente, mientras que solo dos cráteres simples aparecen en llanos (partes distales de glacis de raña). Cuatro localidades se tipifican como cráteres de explosión arracimados (laguna de los Almeros y Saladilla, La Laguna de Moral y la laguna de La Inesperada), tres enclaves se corresponden con cráteres de explosión intersectados (lagunas de Calderón, Las Cucharas y Los Lomillos) y, finalmente, cuatro lagunas se alojan en fondos de cráteres unidos a conos de piroclastos (Almodóvar, Blanca, Los Garbanzos y Los Zahurdones).

En el caso de los *maares* simples, las formas de relieve generadas por la actividad hidromagmática están muy condicionadas por factores estructurales, litológicos y topográficos, afectando al emplazamiento y desarrollo de los depósitos de oleadas piroclásticas basales (*base surge*). En este sentido, en las zonas serranas el relieve previo no volcánico se caracteriza por el predominio de serratas paleozoicas compuestas por litologías de distinta competencia, lo que explica la disimetría de las paredes internas de los cráteres y el comportamiento similar a un explosión dirigida, tal y como lo revelan la localización y disposición de los depósitos de oleadas piroclásticas basales, con frecuencia dispuestas rellenando valles en los que se encajan.

Cuadro 3: Tipos morfológicos identificados en los cráteres de explosión Hidromagmáticos del Campo de Calatrava.

Tipo	A1	A2	A3	B	C	D
Total	7	7	2	4	3	4

- A:** Cráter de explosión aislado
1: Cráter de explosión en sierra
2: Cráter de explosión en piedemonte
3: Cráter de explosión en llano
- B:** Cráteres de explosión arracimados
C: Cráteres de explosión intersectados
D: Cráter nidal con cono de piroclastos

Elaboración propia.

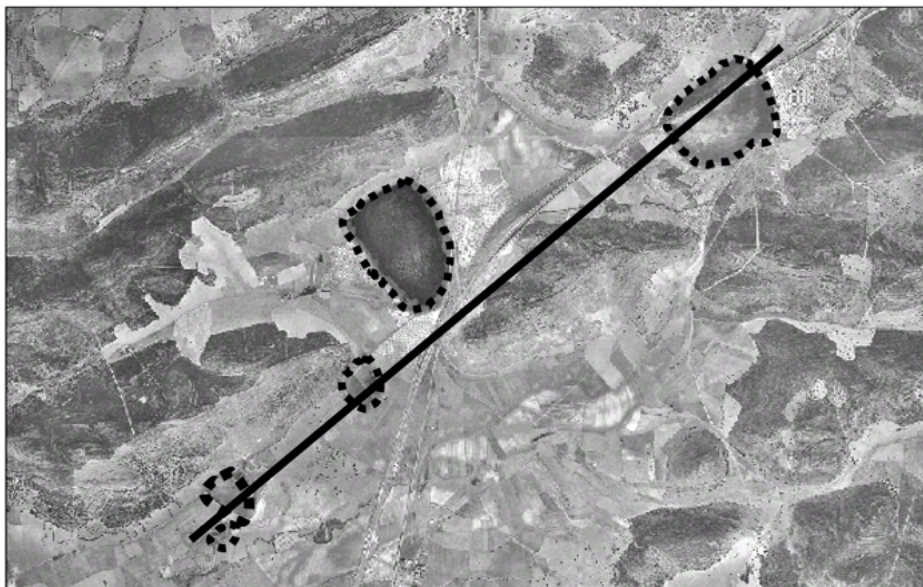
Además, en estos espacios serranos el contacto agua-magma se produce a mayor profundidad lo que puede favorecer la existencia de explosiones reiteradas por el mantenimiento de las condiciones hídricas, siguiendo un modelo similar al planteado por Wohletz (1993) y White y Houghton (2000), favoreciendo la aparición de cráteres encajados, arracimados o yuxtapuestos (González Cárdenas, 2002, p. 460).

En los maares localizados en llanos o cuencas sedimentarias, los cráteres presentan bordes anulares de depósitos hidromagmáticos mejor estructurados que los de los espacios serranos, pudiendo aparecer estos maares aislados o presentarse alineados.

El desarrollo de erupciones hidrovolcánicas ligadas a la existencia de fallas y fracturas ha originado conjuntos destacables de espacios lagunares alineados entre sí, desarrollados sobre *maares simples* (Navas de Malagón o conjunto del piedemonte de la Sierra de Perabad) (Figura 8); *arracimados*, cuando las depresiones cratéricas se sitúan muy próximas entre sí compartiendo bordes anulares pericratéricos (conjunto Lomillos-Carboneras) e *intersectados*, reconocibles por presentar plantas irregulares, de contornos polilobulados y compartiendo fondos o depósitos de orla, como resultado de varias erupciones próximas en el espacio y en ocasiones simultáneas en el tiempo, tal y como ocurre en el complejo lagunar de Villamayor de Calatrava (Figura 8).

Descubriendo un complejo de humedales único en el centro de la Península Ibérica...

Fig. 8: *Arriba:* Alineación de lagunas (maares y cráteres freáticos simples) en la Sierra de Perabad.
Abajo: Maares intersectados en el Complejo palustre de Villamayor de Calatrava.



Elaboración propia. Sig Oleícola. Tragsatec-MAPYA. Octubre, 1997.

Un tipo morfológico que también se ha observado en el Campo de Calatrava es la asociación de conos de piroclastos generados en erupciones estrombolianas con los cráteres de explosión hidromagmáticos, algo muy común en otras regiones volcánicas (Auvernia, Eiffel, Canarias, Gerona, Lacio y Campancci, Cárpatos, Eje Neovolcánico Mexicano, etc.) en las que hay disponible agua ajena al sistema volcánico para interactuar con el magma.

La asociación cono-*maar* se debe a que no siempre se cumplen todas las condiciones requeridas para que la interacción agua-magma sea efectiva. Se producen así alternancias entre fases hidromagmáticas con otras puramente magmáticas, algo que se ha observado con relativa frecuencia en el Campo de Calatrava, donde ciertos maares con lagunas se asocian a conos de piroclastos (lagunas de Los Garbanzos, Blanca o Almodóvar).

Por otra parte, la evaluación de los parámetros morfométricos ha servido para caracterizar el conjunto de los maares y cráteres freáticos calatravos identificados en este trabajo. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4 donde se presentan los estadísticos descriptivos básicos.

Cuadro 4: Estadísticos descriptivos de los parámetros morfométricos de los cráteres de explosión hidromagmáticos del Campo de Calatrava (n=27).

	Dc	dc	Dm_c	Ec	Df	Df	Dm_f	Ecf	P	A	V
Media	1,078.2	872.7	975.5	1.28	703.6	498.4	601	1.44	37.04	1.01	0.1
Error típico	86.7	80.92	83.21	0.03	62.2	43.83	52.1	0.06	8.88	0.15	0.02
Mediana	1,152	882	1,053	1.29	666	450	540	1.38	13	0.8	0.03
Moda	990	558	1,089	1.25	990	324	774	-	7	0.8	-
Desv. Estándar	450.49	420.48	432.3	0.16	323.06	227.7	270.7	0.29	46.16	0.78	0.13
Varianza	202,942.6	176,804.6	186,926	0.03	104,366	51,866.2	73,282.2	0.08	2,130.8	0.61	0.02
Curtosis	-0.61	-0.21	-0.44	2.57	-0.52	-0.09	-0.29	0.1	2.22	-0.1	-0.55
Asimetría	0.04	0.51	0.26	1.17	0.55	0.63	0.59	0.91	1.74	0.96	1
Valor mínimo	225	144	184.5	1.06	225	144	184.5	1.09	2	0.05	0.0002
Valor máximo	1,863	1,710	1,786.5	1.77	1,404	1,026	1,215	2.17	165	2.8	0.36
Rango total	1,638	1,566	1,602	0.72	1,179	882	1,030.5	1.07	163	2.75	0.36

Dc= Diámetro mayor del cráter; dc=Diámetro menor del cráter; Dm_c=Diámetro medio del cráter; Ec=Elongación del cráter; Df= Diámetro mayor del fondo del cráter; df=Diámetro menor del fondo del cráter; Dm_f=Diámetro medio del fondo del cráter; Ecf=Elongación del fondo del cráter P=Profundidad máxima; A= Área del cráter y V= Volumen del *maar*

Elaboración propia.

En lo que se refiere a las dimensiones del cráter, se tratan de edificios que presentan diámetros mayores con un valor promedio que supera los 1000 m, con un rango que varía entre un valor mínimo de 225 m y máximo de 1863 m, y diámetros menores con un valor promedio de 872.7 m, con un rango que varía entre 144 m y 1710 m. El diámetro medio es de 975.46 m; siendo el índice de elongación de 1.28, lo que indica cráteres en los que predominan las formas subelípticas, posiblemente debido al control estructural.

En cuanto a las dimensiones del fondo del cráter, son edificios que presentan diámetros mayores cuyo valor promedio se encuentra en torno a los 700 m, con un rango que varía entre un valor mínimo de 225 m y máximo de 1404 m, y diámetros menores que presentan un valor promedio de 872.7 m, con un rango que varía entre 144 m y 1710 m. El diámetro medio es de 975.46 m y el índice de elongación de 1.44, lo que indica una mayor tendencia elíptica de los fondos de cráter con respecto al propio cráter de explosión.

La profundidad máxima varía entre 2 y 165 m, con un valor promedio de 37.04 m. El área promedio del cráter se encuentra en torno a 1.01 km², con un valor mínimo de 0.05 km² y máximo de 2.8 km².

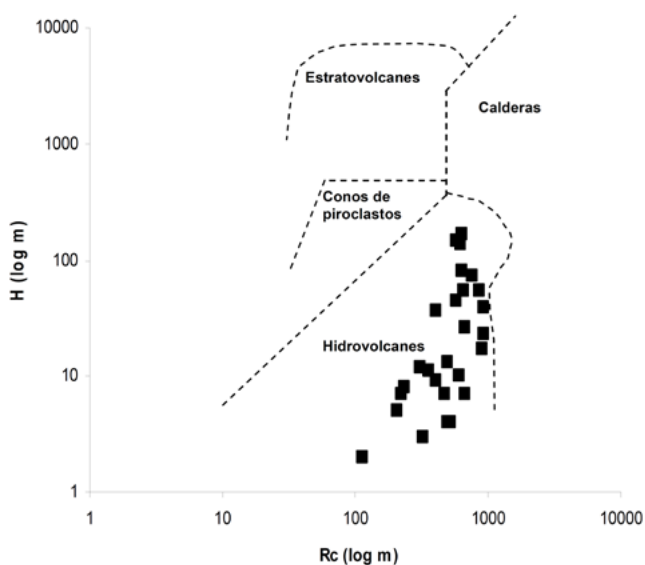
A partir de todos estos parámetros dimensionales se ha calculado el volumen actual del edificio tras los procesos de erosión y colmatación de los cráteres que se han prolongado durante miles de años, por lo que no puede tomarse en consideración como el volumen desalojado realmente en el evento eruptivo. En cualquier caso, si se puede tomar como un indicador de ese volumen de material expulsado durante la explosión hidromagmática. El volumen promedio ha sido calculado en 0.1 km³, variando entre un valor mínimo de 0.0002 km³ y máximo de 0.36 km³.

Todos los edificios analizados se corresponden con edificios hidrovolcánicos, al presentar radios del cráter (Rc) comprendidos entre 100 y 1000 m y profundidad (H) de los cráteres fundamentalmente entre 5 y 100 m (Figura 9). Algunos de ellos se encuentran próximos a la definición de edificios de tipo caldera por sus dimensiones.

Para concretar la tipología hidrovolcánica de los edificios estudiados se ha puesto en relación el radio del cráter y el volumen del edificio, lo que permite diferenciar entre los *maares s.s.*, *maares* con anillos de tobas bien desarrollados y *maares* con conos de tobas. La mayor parte de los edificios analizados se corresponden con *maares s.s.*, poseyendo volúmenes inferiores a 0.1 km³ y radios de cráter comprendidos entre 100 y 1000 m (Figura 10).

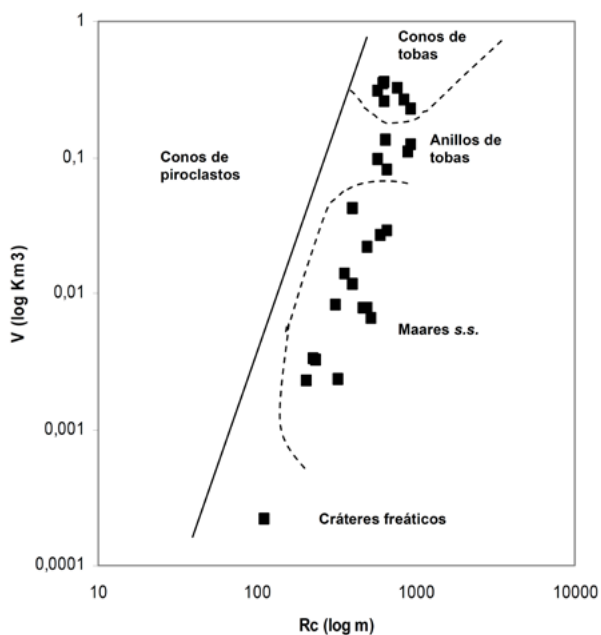
En cuanto a los edificios clasificados como anillos de tobas y, sobre todo, los incluidos en los ámbitos de conos de tobas, el diagrama no sirve en este caso para clasificar correctamente el edificio hidrovolcánico, pues en su diseño no se ha tenido en cuenta el contexto geomorfológico donde se produce la erupción hidromagmática. En el caso del Campo de Calatrava, los cráteres de explosión hidromagmáticos localizados en las sierras de cuarcitas ordovícicas generan edificios cratéricos que desalojan grandes volúmenes, lo que lleva a interpretarlos como anillos o conos de tobas, cuando en realidad se trata de *maares* profundos con depósitos de tobas pericratéricos poco desarrollados o incluso encauzados hacia áreas topográficas deprimidas (valles, etc.).

Figura 9: Diagrama logarítmico radio (Rc)/altura (H) de los distintos centros eruptivos que almacenan agua analizados del Campo de Calatrava. La altura en el caso de hidrovulcanes se corresponde con la profundidad del cráter.



Elaboración propia. Fuente: Head *et al.*, 1981.

Figura 10: Diagrama logarítmico radio (Rc)/volumen (V) de los distintos centros eruptivos que almacenan agua analizados del Campo de Calatrava.



Elaboración propia. Fuente: Head *et al.*, 1981.

CONCLUSIONES

El análisis morfológico y morfométrico permite concluir que las lagunas estudiadas en la región volcánica del Campo de Calatrava están relacionadas con la actividad hidromagmática que se ha desarrollado en este territorio durante el Cenozoico reciente, al tiempo que ha permitido distinguir la presencia de distintas morfologías hidrovulcánicas y la influencia de factores estructurales y de la dinámica eruptiva en su configuración geomorfológica.

A modo de recapitulación, se exponen cuales han sido los criterios aplicados para la identificación de formas lagunares en el Campo de Calatrava vinculadas a la actividad hidrovulcánica, criterios que pueden ser divididos en tres grupos:

- *Criterios morfológicos/morfométricos*: son los que han predominado a la hora de analizar las morfologías existentes en el Campo de Calatrava, apoyándose para ello en estudios de fotointerpretación y trabajo de campo. Los criterios a tener en cuenta son:
 - Existencia de depresiones circulares a subelípticas, con forma de cuenco o embudo y dimensiones variables entre unos metros y 2500 m de diámetro máximo.
 - Regularidad en la disposición de edificios eruptivos conocidos, formas lagunares y accidentes estructurales, que serían indicadoras de la existencia de lineamientos tectónicos, responsables en última instancia de la aparición de lagunas alineadas.
 - En los puntos de cruce de dos o más fallas es posible encontrar lagunas y cráteres de mayor envergadura y en mayor número que a lo largo de las mismas, apareciendo con frecuencia complejos lagunares.
 - Presencia de edificios generados en dinámicas estrombolianas en sus inmediaciones (conos de piroclastos).
- *Criterios litoestratigráficos*: basados en el trabajo de campo, consisten en la identificación de materiales piroclásticos y su disposición en estructuras sedimentarias (*bed forms*), teniéndose en cuenta para ello los siguientes elementos de diagnóstico:
 - Presencia de materiales freatomagmáticos constituidos por brechas de explosión y depósitos de oleadas piroclásticas basales rodeando a depresiones que alojan lagunas.
 - Presencia de depósitos freáticos caracterizados por la angulosidad de los líticos que los integran, su heterometría, nula granoselección y la ausencia de material magmático juvenil.
 - Presencia de clastos magmáticos y *lapilli* acrecional, mezclados con clastos de la roca de caja (cuarcitas, esquistos, pizarras, calizas y margas) y envueltos en matrices arenoso-arcillosas.
- *Criterios de análisis comparado*: la ausencia generalizada de cortes o de sondeos en la zona dificultan una correcta interpretación de la génesis de algunas lagunas, por lo que en muchos casos habrá que utilizar criterios de análisis comparado con formas y ubicaciones similares presentes en espacios volcánicos análogos.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- ANCOCHEA SOTO, E. (1983). *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central*. Colección Tesis Doctorales nº 203/83. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- (2004). Canarias y el vulcanismo neógeno peninsular. En: Vera, J.A. (ed.). *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 635-682.
- BALLESTER, R., VIDAL-ABARCA, M.R., ESTEVE, M.A., SUÁREZ, M.L., GÓMEZ, R. y ROBLEDANO, F. (2003). *Los humedales de la Región de Murcia. Claves para su interpretación*. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente (Región de Murcia), Murcia.
- BELOUSOV, V. (1979). *Geología estructural*, Moscú: Mir.
- BOWLES, G. (1775). *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*. Imprenta de D. Francisco Manuel de Mena, Madrid. (Facsímil: 2007. Editorial Maxtor, Valladolid).
- CAS, R.A.F. y WRIGHT, J.V. (1987). *Volcanic Successions: Modern and Ancient. geological approach to processes, products, and succession*, London: Allen y Unwin.
- CASADOS, S. y MONTES, C. (1995). *Guía de los lagos y humedales de España*, Madrid: J.M. Reyero Editor.
- MONTES, C. y GONZÁLEZ-CAPITEL, E. (2002). *Plan Andaluz de Humedales*. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), Sevilla.
- DE LA NUEZ, J., ALONSO, J.J., QUESADA, M.L. y MACAU, M.D. (1993). Edificios hidromagmáticos costeros de Tenerife (Islas Canarias). *Revista Sociedad Geológica de España*, 6, 47-59.
- DE LA NUEZ, J., QUESADA, M.L. y ALONSO, J.J. (1997). *Los volcanes de los islotes al norte de Lanzarote*, Madrid: Fundación César Manrique.
- DÍAZ PINTADO, J. (1990). Epidemias de paludismo en La Mancha del XVIII. *Cuadernos de Estudios Manchegos*, 21, 211-247.
- DGOH. (1990). *Estudio de las zonas húmedas de la España peninsular. Inventario y tipificación. Volumen IV. Cuenca del Guadiana*. Inédito. INITEC y M.O.P.U., Madrid.
- DÓNIZ PÁEZ, F.J. (2009). *Volcanes basálticos monogénicos de Tenerife*. Concejalía de Medio Ambiente (Excmo. Ayuntamiento de Los Realejos), Tenerife.
- FISHER, R.V. y SCHMINCKE, H. U. (1984). *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, New York.
- FOULGER, G.R. y MEYER, R. (2007). The European Cenozoic Volcanic Province: The type example of an Implausible Mantle Plume (IMP)?, *EOS Trans. AGU*, Fall Meet. Suppl., Abstract. Disponible: www.dur.ac.uk/g.r.foulger/Offprints/EuropeanImps2007.pdf
- GALLARDO MILLÁN, J.L. (2005). *Evolución geodinámica de las cuencas meridionales de Campo de Calatrava (Almódovar, Puertollano y Calzada) en relación con el volcanismo reciente*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), Madrid.
- GARCÍA RAYEGO, J.L. (1995). *El medio natural de los Montes de Ciudad Real y el Campo de Calatrava*. BAM. Área de Cultura-Diputación de Ciudad Real, Ciudad Real.
- GONZÁLEZ CÁRDENAS, E. (1992). Aspectos geomorfológicos del volcanismo hidromagmático del Campo de Calatrava, Ciudad Real (España). *Estudios de Geomorfología en España*, Vol. II, 569-583.
- (1996a). Secuencias eruptivas y formas de relieve en los volcanes del sector oriental del Campo de Calatrava [Macizo de Calatrava y Domo de Almagro]. *Actas de las XII Jornadas de Campo de Geografía Física*, 133-164.

- (1996b). Erupciones hidromagmáticas en el borde occidental del Macizo de Calatrava, Campo de Calatrava (España). El volcán del Rinconcillo. *IV Reunión Nacional de Geomorfología. Cuadernos del Laboratorio Xeológico de Laxe*, 21, 281-295.
- (2002). Depósitos de oleadas basales y su papel en el relieve volcánico del Campo de Calatrava (España). En Serrano, I.E, García de Celis, A., Guerra, J.C., Morales, C. y Ortega, T. (eds.). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial*. SEG y Departamento de Geografía (Universidad de Valladolid), Valladolid, 455-465.
- GONZÁLEZ CÁRDENAS, E. y GARCÍA RAYEGO, J.L. (2000). Geología y Geomorfología de los humedales del Campo de Calatrava. En: García Canseco, V. (coord.). *Humedales de Ciudad Real*, 34-43.
- GONZÁLEZ CÁRDENAS, E.; GARCÍA RAYEGO, J.L., GOSÁLVEZ REY, R.U., MORALES PÉREZ, M. y PEINADO MARTÍN-MONTALVO, M. (2002). Los geosistemas lagunares de origen volcánico del Campo de Calatrava: funcionamiento y dinámica reciente. En Pérez, A., Vegas, J. y Machado, M.J. (eds.) *Aportaciones a la geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. IGME y Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, 395-403.
- GOSÁLVEZ Rey, R.U.; GONZALEZ CARDENAS, E.; ESCOBAR LAHOZ, E.; BECERRA RAMÍREZ, R. (2009). Análisis Hidrogeográfico de las lagunas volcánicas de la Península Ibérica. En *Geografía, Territorio y Paisaje: el estado de la cuestión*. Actas del XXI Congreso de Geógrafos Españoles, DVD, 1479-1497.
- GOSÁLVEZ REY, R.U. (2012). *Análisis biogeográfico de las lagunas volcánicas ibéricas. Bases científicas para su gestión*. Tesis Doctoral. Ciudad Real: UCLM.
- HEAD, J.W., BRYAN, W.B., GREELEY, R., GUEST, J.E., SCHULTZ, P.H., SPARKS, R.S.P., WALKER, G.P.L., WHITFORD-STARK, J., WOOD, C.A. y CARR, M.A. (1981). Distribution and morphology of basalt deposits on planets. En *Basaltic volcanism on the terrestrial planets*. Basaltic Volcanism Study Project, New York: Ed. Pergamon Press, Inc., 702-800.
- HERNÁNDEZ PACHECO, F. (1932). *Estudio de la región volcánica central de España*. Memoria de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
- HUTCHINSON, G. E. (1957). *A treatise on limnology. Volume I. Geography, physics and chemistry*, New York: John Wiley and Sons, INC.
- LORENZ, V. (1973). On the formation of maars. *Bulletin of Volcanology*, 37, 183-204.
- MARTÍ, J., PUJADAS, A., FERRES, D., PLANAGUMÀ, LL. y MALLARACH, J.M. (2001). *El vulcanismo. Guia de camp de la Zona Volcànica de la Garrotxa*, 2ª ed. Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa [Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya], Barcelona.
- MOORE, J.G. (1967). Base surge in recent volcanic eruptions. *Bulletin of Volcanology*, 30, 335-363.
- POBLETE PIEDRABUENA, M.A. (1993). Morfología y secuencias eruptivas del cráter explosivo de La Posadilla (Campo de Calatrava, Ciudad Real). *Ería*, 30, 51-59.
- (1994). *El relieve volcánico del Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Edición propia, Asturias.
- (1997). Evolución y características geomorfológicas del sector central del Campo de Calatrava (Ciudad Real). En García Rayego, J.L. y González Cárdenas, E. *Elementos del medio natural en la provincia de Ciudad Real*. Colección Estudios, 36. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, Cuenca, 133-159.
- (2000). Geomorfología volcánica y evolución eruptiva del bajo valle del Ojailén (Alto Jándula, Sierra Morena Oriental). En Pérez González, A., Vegas Salamanca y Machado, M.J. (coord.). *Aportaciones a la geomorfología de España para en el inicio del tercer milenio y sociedad*. Actas de la VI Reunión Nacional de Geomorfología. SEG-IGME, Madrid, 449-454.

- (2001). Las formas del relieve de origen hidrovulcánico. En: Manero, F. (ed.). *Espacio natural y dinámicas territoriales: homenaje al Dr. D. Jesús García Fernández*, geógrafo, profesor emérito de la Universidad de Valladolid. Universidad de Valladolid, Valladolid, 183-193.
- PUJADAS, A., PALLÍ, L., BRUSI, D. y ROQUÉ, C. (1997). *El vulcanisme de la Vall de Llèmena*. Col·lecció Dialogant amb les Pedres, 5, Girona: Ed. Universitat de Girona.
- RINCÓN CALERO, P.J. (1999). *Análisis de la deformación incidente durante el periodo neotectónico en el antepaís bético (España Central): Implicaciones morfoestructurales y origen del vulcanismo reciente del Campo de Calatrava (contrastación con otros entornos ígneos)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- SANZ DONAIRE, J.J. y DÍAZ ALVAREZ, M.D. (1992). Génesis y funcionalidad geomorfológica de los humedales. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 12, 93-103.
- SHERIDAN, M.F. y WOHLLETZ, K.H. (1983). Hydrovolcanism: basic considerations and review. *Explosive volcanism*, 1-29.
- STEININGER, J. (1819). *Geognostische studien am Mittelrheine*, Mainz: Kupferberg.
- TERÁN, M. de, SOLÉ SABARIS, L. y VILÁ VALENTÍ, J. (1978). *Geografía General de España*, Barcelona: Ariel.
- VELAYOS, M., CARRASCO, M.A. y CIRUJANO, S. (1989). Las lagunas del Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Botanica Complutensis*, 14, 9-50.
- WATERS, A.C. y FISHER, R.V. (1971) Base surge and their deposits: Capelinhos and Talla Volcanoes. *Journal of Geophysical Research*, 76, 5596-5614.
- WHITE, J.D.L. y HOUGHTON, B. (2000). Surtseyan and Related Phreatomagmatic Eruptions. En: Sigurdsson, H. *Encyclopedia of Volcanoes*, San Diego: Academic Press, 495-511.
- WOHLLETZ, K.H. (1993). Hidrovulcanismo. *La Volcanología actual*, 99-193.
- WOHLLETZ, K.H. y SHERIDAN, M.F. (1979). A model of pyroclastic surge. En Chapin, C. y Elston, W. (eds.). *Ash Flow Tuffs*. Geological Society of America, Special Papers, 180, 177-194.

Ecoturismo en humedales de la Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas (Veracruz, México)

Isis Arlene Díaz Carrión¹, Valeria Vega Vela²

Resumen: El ecoturismo es una actividad que ha sido considerada como compatible con la conservación y comprometida con la generación de beneficios para las comunidades locales. Debido a lo anterior, desde hace algunos años ha sido promovido por diversos agentes como estrategia para los espacios protegidos en México.

El objetivo principal del presente trabajo es el evaluar el desarrollo del ecoturismo en la Laguna de Sontecomapan y el Lago de Catemaco donde se desarrollan actividades de ecoturismo desde hace casi dos décadas, ambos humedales conforman uno de los más importantes ejes de ecoturismo en la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, un área natural protegida en el sur de México.

A través de una investigación cualitativa se explora de forma general los efectos del ecoturismo considerando aspectos medio ambientales, sociales y económicos.

Como parte de los hallazgos más significativos destacan la necesidad de planteamientos integrales, así como la necesidad de valoraciones constantes de las diversas dinámicas que puede generar o mantener el ecoturismo en los humedales donde se ha implantado.

Palabras clave: efectos del ecoturismo, humedales Sontecomapan, Catemaco.

Abstract: Ecotourism is considered an activity that promotes either conservation or brings benefits to local population; as a result, it has been considered for diverse agents as a strategic opportunity for protected areas in Mexico.

The main purpose of this paper is to evaluate the way ecotourism is developing at Laguna de Sontecomapan and Lago de Catemaco where it has been taking place during the last two decades; both wetlands conforms one of the most important axis of ecotourism in Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, a protected area south of Mexico.

Through a qualitative methodology some effects of ecotourism are reviewed, considering environmental, socio cultural as well as economic aspects.

¹ Doctora en Geografía Humana. Facultad de Turismo y Mercadotecnia campus Tijuana. Universidad Autónoma de Baja California. diaz.isis@uabc.edu.mx

² Maestra en Ciencias por el Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. vega.valeria@colpos.mx

Some of the most important findings are the need of integral planning and development of the activity as well as continuous monitoring of different dynamics generated or maintained by ecotourism in wetlands where it has been implanted.

Keywords: ecotourism effects, wetlands, Sontecomapan, Catemaco.

INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros, y en particular los manglares, son complejos ecológicos altamente productivos debido a la diversidad biológica que albergan y por la gran variedad de servicios ambientales que brindan (Conabio, 2009: 16). En México, numerosas comunidades rurales cercanas y aledañas a las zonas donde se distribuyen los humedales practican el ecoturismo como una actividad complementaria a sus ingresos; cuando estas iniciativas son adecuadamente gestionadas se convierten en una acción viable para la conservación, la recuperación de ecosistemas y el aprovechamiento del patrimonio natural y cultural, así como la mejora en la calidad de vida de las poblaciones residentes.

En el presente capítulo se propone una revisión general de la funcionalidad ecoturística de dos de los humedales más significativos de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas; la Laguna de Sontecomapan (Sitio Ramsar) y el Lago de Catemaco conforman uno de los principales ejes de ecoturismo y para nuestro estudio se convierten en espacios multidimensionales sobre los que se ensayan diversas fórmulas de un desarrollo compatible con la conservación.

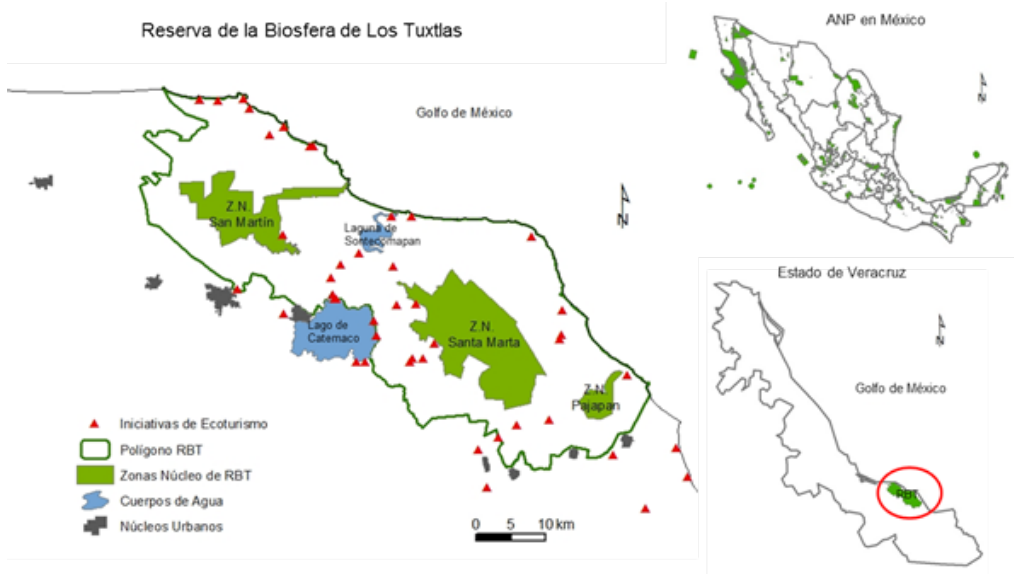
HUMEDALES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA

La Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas (RBT) se ubica al sur del Estado de Veracruz ($18^{\circ} 34' - 18^{\circ} 36' N$ y $95^{\circ} 04' - 95^{\circ} 09' W$) (CONANP, 2009), fue declarada Área Natural Protegida (ANP) -en noviembre del año de 1998- a fin de conservar el bosque mesófilo y las selvas baja perennifolia, mediana caducifolia y alta perennifolia (ídem).³

Con anterioridad al año 1998, es posible encontrar acciones de protección en lo que ahora compone la RBT; así, ya en el año de 1937 se declara una Zona Protectora Forestal -de 28,500 ha-; estos esfuerzos que treinta años después se consolida con el establecimiento de la Estación de Biología Tropical de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) -de 700 ha- creada con el fin de generar investigaciones que pusieran en relieve la importancia de proteger los recursos de la zona.

³ El art. 48 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGPEA) establece que la Reserva de la Biosfera es una figura de protección federal sobre áreas biogeográficas relevantes que resultan representativas de uno o más ecosistemas poco alterados por la acción humana y que precisan ser conservados y restaurados.

Fig. 1: Los humedales de la RBT y el ecoturismo.



Elaboró Díaz, I. a partir de INEGI, CONANP y trabajo de campo.

Otro esfuerzo para salvaguardar la selva data entre los años de 1979 y 1980 cuando se establecen las Zonas de Protección Forestal y el Refugio de la Fauna Silvestre de las Regiones del volcán de San Martín –5,533 ha– y la Sierra de Santa Marta –83,000 ha–. La ampliación de terrenos dedicados a la protección se presenta también mediante compras o expropiaciones; así, en 1989 la Universidad Veracruzana (UV) adquiere 220 ha donde establece un centro de investigaciones y en 1998 los gobiernos estatal y federal realizan dos expropiaciones de 6,318 ha, en el primer caso, y de 9,366 en el segundo. Un par de años antes dos esfuerzos privados añadieron 40 ha a la RBT (en estos casos se trata de iniciativas de ecoturismo realizadas por particulares: Nanciyaga y La Jungla). Finalmente es en 1998 cuando por decreto presidencial se declaran 155,122 ha como Área Natural Protegida, en la categoría de Reserva de la Biosfera.

La RBT es altamente rica en cuanto a diversidad de ecosistemas, sus humedales están caracterizados como: “Playa arenosa, costa rocosa, manglar y restos de selvas inundables, tifales, lagos volcánicos” (Moreno-Casasola e Infante [2010: 367]; dos de los humedales más importantes en términos biológicos y paisajístico son el Lago de Catemaco y la Laguna de Sontecomapan, espacios que en los últimos años han estado estrechamente vinculados con el ecoturismo que se practica en la RBT (Figura 1).

La región costera de la RBT se caracteriza por presentar una mezcla de costas mixtas abrasivas y de acumulación (idem: 128); el Lago de Catemaco y la Laguna de Sontecomapan son dos depresiones generadas por el volcán Santa Marta y el volcán San Martín Pajapan, los cuales forman parte de la zona núcleo de la RBT (SEMARNAP, 1998: 2). La Laguna de Sontecomapan, caracterizada por sus aguas salobres, está también rodeada de manglar y terrenos aislados de selva inundable (Moreno-Casasola e Infante, *op. cit.*); tales manglares están registrados como Sitio Ramsar (No. 1342)

debido a que representa una de las extensiones más importantes de manglar en la costa occidental del Golfo de México (Carmona *et al.*, 2004).⁴

Fig. 2: Humedal de la Laguna de Sontecomapan.



Archivo personal Neger, C. [2013].

A modo de elemento de conexión entre las dos zonas núcleo de la RBT se encuentra el Lago de Catemaco, una masa de agua correspondiente a una cuenca endorreica formada como consecuencia del escurrimiento pluvial (Moreno-Casasola e Infante, *op. cit.*); se trata de un cuerpo de agua dulce ubicado a 332 msnm (Calderón *et al.*, 2001: 24), en cuyas riberas aún se encuentran: “*remanentes forestales dispersos de manglar, encinar y principalmente de selva alta y mediana perennifolia, localizados sobre laderas abruptas o la cima de pequeños conos volcánicos*” (Laborde, 2004: 275).

El programa de conservación y manejo de la RBT plantea la necesidad de análisis de la problemática ambiental y socioeconómica de esta área, entre las que destacan los humedales, con la finalidad de generar una zonificación que promueva su desarrollo mediante actividades de manejo apropiadas, basado en un diagnóstico integrador como pauta para determinar los valores directos e indirectos y derivados de la conservación de los recursos; para de ese modo poder detectar las limitantes y potencialidades del desarrollo socioeconómico (CONANP, 2009).

⁴De acuerdo con Carmona *et al.* (2004) este manglar tenía una extensión cercana a las 891 ha, pero las elevadas tasas de deforestación y erosión lo habían reducido para el 2001 a unas 700 ha, de las cuales 400 ha se encuentran desde el año 2000, por un período de 25 años, bajo custodia de la Universidad Veracruzana.

Problemática en los humedales estudiados

La deforestación, como consecuencia de prácticas agrícolas y ganadería extensiva, ha sido documentada para el caso de los predios establecidos a orillas de la Laguna de Sontecomapan; en la investigación de Carmona *et al.* (*op. cit.*) se considera que el avance de dichas actividades productivas hacia el interior del manglar (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*) son la principal causa de deforestación de este, llevando además consigo azolve de ríos y laguna por arrastre eólico y fluvial, disminución del espesor de las láminas de agua de ríos y laguna o cambios de temperatura en los cuerpos de agua. De igual forma, los efectos que causan las prácticas ganaderas extensivas y agrícolas de “temporal” [temporada de lluvias] han disminuido los niveles de productividad pesquera por el uso de fertilizantes, insecticidas y herbicidas.

Fig. 3: Lago de Catemaco.



Archivo personal Díaz, I. (2010).

No menos importante es también la problemática ambiental que genera el transporte de personas y mercancías en lanchas de motor, ya que estas generan oleaje que provoca el desbordamiento en las orillas y contribuye al azolve de los ríos y la laguna (ídem); en algunos casos este servicio de transporte es prestado a visitantes que recorren la laguna con fines ecoturísticos.

La ausencia de una gestión de residuos urbanos y aguas residuales ha generado que los principales cuerpos hídricos de la RBT presenten contaminación; el Lago de Catemaco,⁵ es considerado un sistema eutrófico debido a los altos niveles de nutrientes, de productividad primaria y de contaminación generados por los vertidos que van directo al lago y también por vertidos industriales (Vázquez *et al.*, 2006); en concordancia con ese carácter eutrófico, el Lago presenta proliferación de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), una maleza indicadora de hábitats perturbados con efectos perjudiciales para la ictiofauna. No obstante, ese lirio acuático desde hace casi una década se ha convertido en la materia prima de diversas iniciativas artesanales en la región.

Otro impacto directo a la comunidad íctica es el establecimiento de sistemas de producción de peces (jaulas flotantes) dentro del lago de Catemaco, sistemas de los que accidentalmente escapan ejemplares que desplazan a las especies nativas, conllevando pérdida de biodiversidad (Seba, 2009: 22). Por otra parte el Lago de Catemaco ha sido también impactado negativamente por construcción de caminos y carreteras; con la construcción de caminos secundarios (de terracería o asfaltados) se continúa fragmentando la vegetación, y en ocasiones a través de esas nuevas vías de comunicación se ha promovido el tráfico ilegal de especies.

La situación problemática por la que están pasando los humedales de la Laguna de Sontecomapan y el Lago de Catemaco han sido concentrados por las autoras en la figura 4. De acuerdo con la figura, se puede observar que en plano físico-biológico encontramos principalmente la pérdida de diversidad biológica que en consecuencia genera la degradación paisajística (CONABIO, 2009b), ocupación de áreas sujetas a amenazas del cambio climático (SEMARNAT, 2008), erosión del suelo y contaminación de la Laguna de Sontecomapan (Carmona *et al.*, *op. cit.*) (Figura 4).

La deforestación y la pérdida de hábitat como resultado de cambio en el uso de suelo para la implantación de actividades ganaderas y agrícolas ha sido una de las problemáticas más estudiadas de los humedales de la región, y es a su vez detonadora de otras problemáticas tanto socioeconómicas como medioambientales que se van retroalimentando mutuamente.

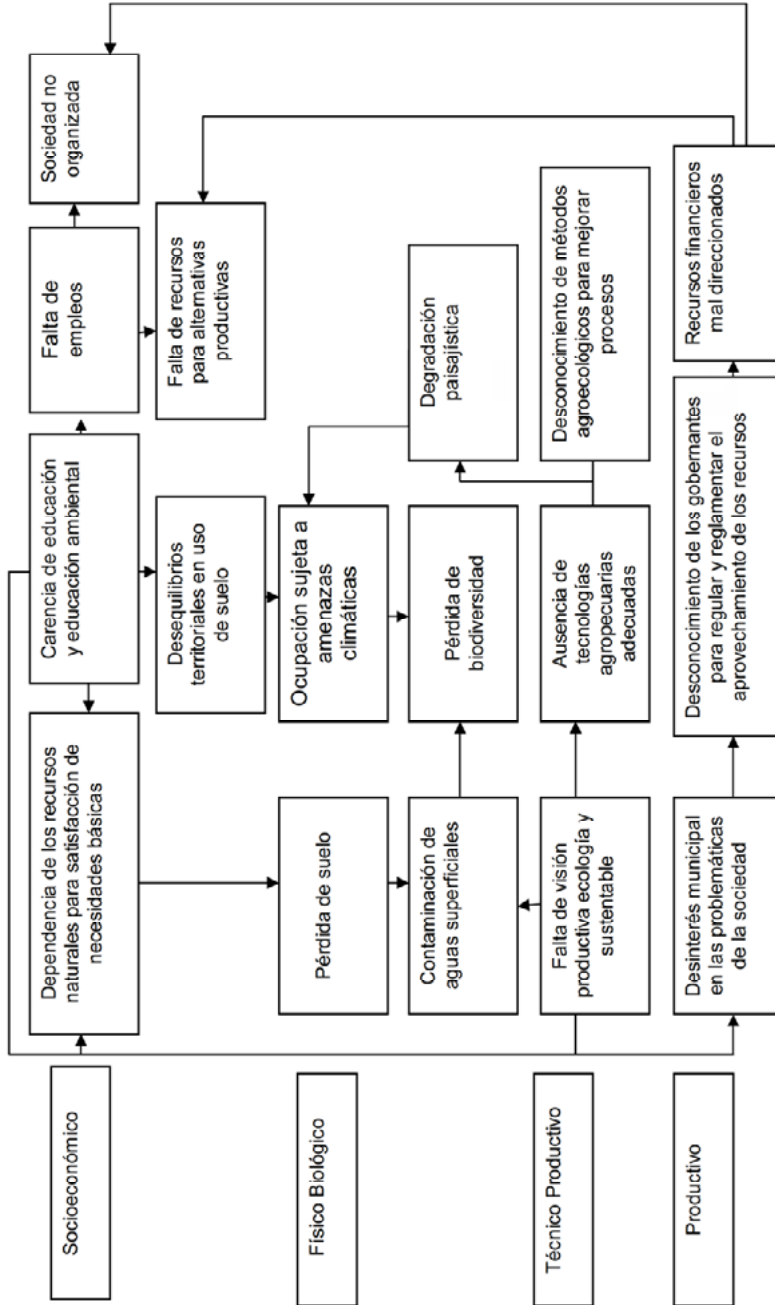
Dentro de las actividades económicas presentes en ambos humedales se encuentran la pesca, la actividad ganadera, agrícola, industrial y la turística (CONABIO, s/f). En el plano socioeconómico se presenta una dependencia de los recursos naturales para satisfacer las necesidades básicas la población y falta de diversificación de empleos, desequilibrios territoriales de la distribución de actividades (INE, 1998; CONABIO, 2009b), falta de educación ambiental y, en definitiva, de un desarrollo sostenible (García *et al.*, 2009).

Las principales causas de la pérdida del patrimonio natural de Los Tuxtlas se relacionan con la aplicación de políticas económicas productivistas orientadas hacia la obtención de ganancias a corto plazo: el caso de la explotación forestal irracional, la modificación de la hidrología por desviaciones de los cauces fluviales para irrigar campos agrícolas y la sustitución de áreas –incluidas las de manglar– por obras de acuicultura o de infraestructura turística. Pero la problemática principal radica en la sorprendente falta de planes de manejo para los diversos ecosistemas en la región, la

⁵La propia orilla del lago sirve para delimitar la RBT, concretamente la mitad nororiental.

limitada planificación y ordenamiento de actividades productivas y la inexistente información que brinda el valor ecológico y económico de los bienes, atributos y servicios que proporcionan estos ambientes (Moreno *et al.*, 2002).

Fig. 4: Problemática Integral de la Laguna de Sontecomapan y el Lago de Catemaco.



Mientras, en el plano político se observa una falta de participación gubernamental para aplicar las normas y regular el aprovechamiento racional de sus recursos (Piñar, 2012); lo que genera acciones repetitivas y poco conectadas entre sí, que finalmente se traducen en ineficiencia, duplicidad de acciones que –no en pocas ocasiones– pueden partir de planteamientos encontrados.

Las principales deficiencias en el plano tecnológico, se deben principalmente a la falta de recursos para adoptar otras alternativas productivas (Cervantes *et al.*, 2008), ausencia de proyectos productivos ecológicos y sustentables (SEMARNAT, 1998), ausencia de tecnología agrícola adecuada y ausencia de conocimientos de métodos de producción orgánica para autoconsumo (Carmona *et al.*, *op. cit.*).

Como es posible visualizar en la figura 4 las distintas problemáticas se han clasificado en un plano específico, pero la retroalimentación entre todas es constante; de tal suerte que los efectos ocasionados por una se convierten en causas para otro plano específico, dando una pequeña –pero precisa– idea de la necesidad de planes de manejo integral y participativos que permitan a la población local adueñarse de la conservación de los recursos a la vez que mejora su calidad de vida.

La problemática presente en ambos humedales se extiende como consecuencia de las diferentes dinámicas de la región en un círculo vicioso que ha intentado ser modificado a partir de diversas iniciativas de sensibilización que van desde la formación de un promotorado, la planeación participativa comunitaria o la educación compensatoria e innovadora a partir de tres ejes rectores: el anclaje institucional, la promoción de comunidades de aprendizaje y la profesionalización de la educación ambiental (García *et al.*, 2009); pero queda pendiente como tarea a replantearse y dinamizarse para, efectivamente, avanzar en el uso adecuado de los recursos de la región.

LOS HUMEDALES COMO RECURSO ECOTURÍSTICO EN LA RBT

En México, el ecoturismo⁶ se introduce alrededor de la década de 1980 y a lo largo de la década de los 1990 la política turística empieza a impulsarlo buscando diversificar el turismo de sol y playa, apostando por la especialización en actividades lúdicas que pretendidamente atraerían a un turismo con mayor poder adquisitivo y más respetuoso con la comunidad receptora (SECTUR *et al.*, 2000). Con la declaración del 2002 como Año Internacional del Ecoturismo se fortalece el papel de dicho segmento del mercado y las instituciones comienzan a considerar al ecoturismo como una estrategia compatible con la conservación –particularmente en las Áreas Naturales Protegidas (ANP)– y en la lucha contra la pobreza (López y Palomino, 2008).

En las ANP mexicanas se busca promover el ecoturismo como herramienta de educación ambiental y estrategia para la diversificación de actividades y de disminución de la presión de recursos tradicionalmente aprovechados, buscando la obtención de un ingreso que permitirían, eventualmente, elevar la calidad de vida de quienes residen en tales espacios (Córdoba *et al.*, 2004: 65).

⁶ Sobre el significado de este término se ha reflexionado mucho en las últimas 2 ó 3 décadas; pero desde un principio ha tenido a la responsabilidad ambiental como la primera de sus bases, destacando la promoción de la conservación del patrimonio natural y cultural, el bajo impacto ambiental y cultural, así como el involucramiento activo de la población residente en la gestión del turismo (Ceballos-Lascurain, 1994: 4).

La implementación de actividades turísticas en las ANP varía en intensidad; en algunas se registra la presencia de turismo masificado antes de ser protegidas, mientras que en otras esta actividad ha comenzado a ser impulsada como consecuencia de la declaración. En otros casos, la ANP se ha incorporado a circuitos turísticos existentes a veces vinculados al modelo turístico de sol y playa, donde destaca la participación de operadores del ramo; en el otro extremo se encuentran pequeños desarrollos turísticos impulsados desde las comunidades locales (López y Palomino, *op. cit.*: 40).

Cuadro 1: Efectos causados por el ecoturismo

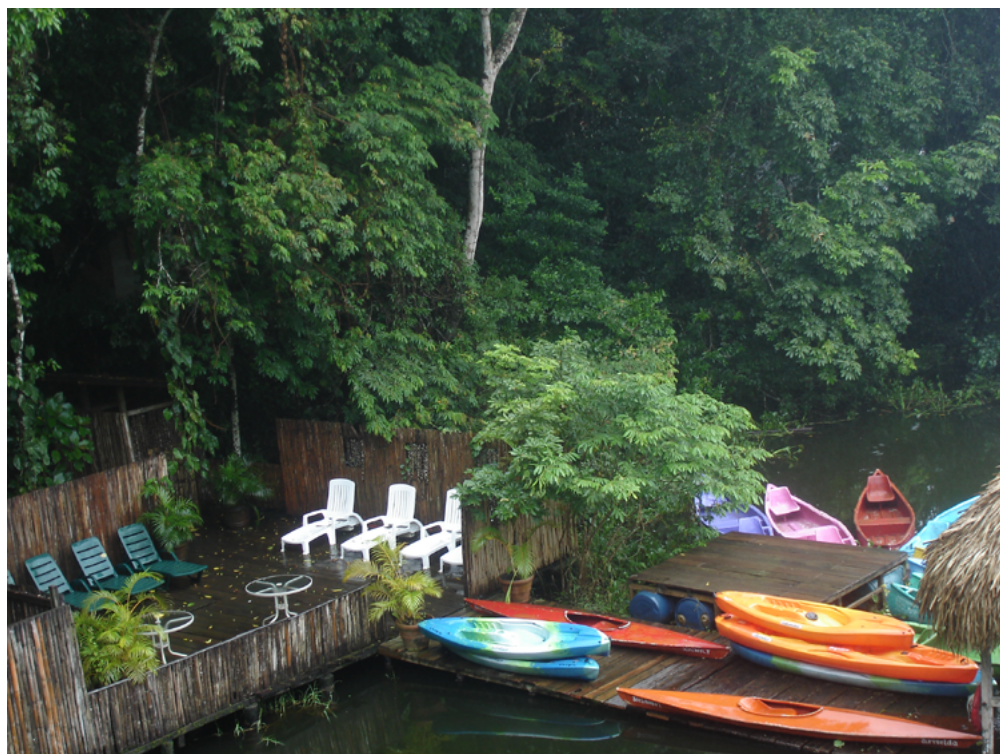
Efectos Positivos	Efectos Negativos
Contribuye al crecimiento de la importancia del valor de la naturaleza.	Destruye la naturaleza para satisfacer necesidades turísticas.
Potencia el orgullo por el medio ambiente local.	Potencia el daño medioambiental por el uso de recursos.
Mejora de las infraestructuras y servicios básicos.	Puede ocasionar severos e imprevisibles efectos a economías básicas de tipo primario.
Diversificación de la economía.	Crea empleos para foráneos.
Crea nuevos empleos.	Crea empleo temporal e inestable.
Fomenta la demanda local de productos.	Aumenta la importación de productos.
Reduce la migración de jóvenes y personas capacitadas.	Comercializa la cultura.
Potencia la participación de la comunidad.	Crea tensiones sociales.
Ayuda a mantener elementos clave de la cultura local.	Fomenta la competencia entre intereses locales y foráneos
Permite integrar a las comunidades marginadas en planes de desarrollo nacionales.	

Fuente: Elaboró Díaz, I. a partir de diversas fuentes.

Pero si bien la conservación es un punto fundamental del ecoturismo, para Barkin (2003: 371) el beneficio de la población local es la otra de las principales demandas; en este sentido, cualquier actividad turística desarrollada en las ANP, debe considerar e integrar los diversos contextos locales y globales así como las dinámicas sociales a fin de efectivamente empoderar a las comunidades locales y hacerlas partícipes de los beneficios de la conservación.

Entre la serie de efectos que genera el turismo (cuadro 1), los de corte sociocultural son de particular significado, pues por un lado existe la posibilidad de cambio en las estructuras sociales como resultado de una participación activa en el proceso de desarrollo del ecoturismo en particular, y del desarrollo rural en general. Sin embargo, por otro lado existe también la posibilidad de que el ecoturismo mantenga o consolide las inequidades presentes en el medio rural al servirse de las estructuras sociales existentes para su implantación y desarrollo, resultando beneficiados los miembros de la comunidad mejor ubicados en términos económicos, sociales y culturales.

Fig. 5: Instalaciones de ecoturismo a orillas del lago de Catemaco.



Archivo personal Díaz, I. (2010).

Tanto la Laguna de Sontecomapan como el Lago de Catemaco forman parte de un corredor turístico que permite unir las principales cabeceras municipales de la región de Los Tuxtlas con la costa del Golfo; la funcionalidad turística de estos espacios viene de tiempo atrás, pero la vocación ecoturística es –dentro de lo que cabe– reciente. El ecoturismo se introduce en Los Tuxtlas algunos años previos a la declaración de la RBT a través de esfuerzos comunitarios y particulares que ven en esta actividad la posibilidad de completar ingresos a la vez que se promueve la conservación (Paré, 2003: 271). Con posterioridad a la declaración de la RBT, se aprecia un incremento en el surgimiento de iniciativas de ecoturismo, particularmente entre aquellas que se conforman bajo la categoría de proyectos comunitarios, muchos apoyados técnicamente desde la estructura administrativa de la propia RBT.

Las empresas usuarias de los humedales de la RBT se caracterizan a partir de dos tipologías; por un lado están las iniciativas comunitarias y por otro las de tipo particular, ambos modelos aplicables tanto a las ofertas de hospedaje, como de alimentación, artesanías o recorridos. Las iniciativas comunitarias suelen tomar la forma legal de sociedad cooperativa o de solidaridad social; este modelo empresarial ha resultado de procesos de acompañamiento con instituciones y/o ONG (Organizaciones No Gubernamentales) que en la mayoría de los casos buscan generar cohesión social y están basados en procesos, más o menos, participativos.

La otra modalidad son las iniciativas particulares, generalmente ubicadas en comunidades con vías de comunicación y servicios básicos dentro de la RBT y que en la mayoría de sus casos se trata de inversión endógena; aunque también existen algunos casos de personas foráneas que se asientan en la región e inician su empresa de ecoturismo. También dentro de esta modalidad existe la figura emprendedora entre residentes de las comunidades, quienes también desarrollan por su cuenta –a veces dentro de la economía informal– actividades complementarias para el desarrollo del ecoturismo.

Cuadro 2: El producto ecoturístico en la RBT

<p>Producto Principal: recorridos interpretativos (terrestre y acuático).</p> <p>Complementarios: tirolesa, rappel, escalada, cabalgatas, kayak en aguas planas, observación aves, temascal, masajes, gastronomía, artesanías, productos artesanales, natación en playas poco concurridas, pesca artesanal, apreciación paisajística.</p> <p>Funcionales: hospedaje, alimentación, transportación terrestre, programas escolares, asesoría.</p>
--

Fuente: Elaboraron Díaz, I. y Vega, V. a partir de etapa de campo.

A la fecha, los recorridos interpretativos son la actividad más representativa del ecoturismo en los humedales estudiados; a través de diferentes recorridos terrestres y acuáticos se busca sensibilizar al ecoturista sobre la importancia de estos ecosistemas y los efectos que en ellos ha tenido la ocupación humana. El hospedaje y la alimentación se cuentan entre los servicios ofrecidos por casi todas las empresas, algunas de las cuales tienen en el turismo de estudiantes –la mayor de las veces provenientes de las principales ciudades de esta región del país– su mercado más importante (principalmente entre las iniciativas comunitarias); de forma testimonial, procede señalar que una de las iniciativas (Los Manglares de Sontecomapan) se ha convertido –desde hace un par de años– en asesora de futuros proyectos de ecoturismo apoyados a través de instituciones gubernamentales. La mayoría de las iniciativas han complementado la oferta ecoturística con otras actividades (ver cuadro 2) y en algunos casos la oferta tiende a ser muy parecida al agroturismo pero siempre haciendo énfasis principal en la necesidad de conservación y en la sensibilización del visitante (p. e. Los Amigos y Poza Reyna).

Dentro de la elaboración de artesanías y los productos artesanales destacan tanto las empresas individuales como las comunitarias, algunas ubicadas fuera del circuito ecoturístico (p. e. la producción artesanal de las iniciativas ubicadas en la Sierra de Santa Marta) pero cuya producción se comercializa en este; estas empresas surgen cuando ya ha pasado el inicio incipiente del ecoturismo en la RBT y de alguna forma han podido contribuir a conformar el producto, aun cuando –y como consecuencia de la baja consolidación de este– su potencial está también lejos de consolidarse.

ECOTURISMO EN LA LAGUNA DE SONTECOMAPAN Y EL LAGO DE CATEMACO: APRENDIZAJES

El objetivo del presente trabajo es el de contribuir a la reflexión sobre la funcionalidad ecoturística, tanto la Laguna de Sontecomapan como la orilla noreste del Lago de Catemaco, poniendo énfasis en aquellos efectos que han sido –en opinión de las autoras– adecuadamente manejados y también en aquellos en los que es pertinente reorientar con la finalidad de maximizar los efectos positivos y minimizar los negativos que genere el ecoturismo.

A continuación se presenta, como parte del reporte de la investigación, una selección de los efectos más significativos como consecuencia del desarrollo del ecoturismo en los humedales de la RBT, misma que se organiza a partir de los tres fundamentos del concepto de ecoturismo, a saber: los aspectos medio ambientales, los socioculturales y los económicos.

CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO NATURAL DE LA REGIÓN

Algunos de los aspectos ambientales de los sitios de ecoturismo (aunque en la región son conceptualizados como turismo alternativo) se describen a continuación, con la finalidad de tener un panorama general de cómo están siendo manejados en materia ambiental.

Las empresas de ecoturismo tienen muy clara la importancia del cuidado del agua, el manejo de los residuos y la conservación de la vegetación natural. Por ejemplo, La Jungla, Bahía Escondida y Las Margaritas, son empresas que se caracterizan por conservar la vegetación de su entorno natural, aprovechándola como atractivo para el desarrollo del ecoturismo. Por otra parte, Nanciyaga, El Teterete, Bahía Escondida, Cascadas Encantadas, Los Amigos y Manglares de Sontecomapan son desarrollos de ecoturismo que realizan diferentes programas para la conservación, protección y restauración de la flora y fauna, a través de la promoción de estos recursos y de programas de vinculación y educación ambiental con énfasis en la importancia socioeconómica y ambiental a nivel regional; mientras que Prashanti básicamente limita sus acciones en materia de protección a su predio.

El diseño arquitectónico de la infraestructura –cabañas y albergues y zonas de recreación (palapas, salones de usos múltiples)– de las empresas de ecoturismo utilizan materiales regionales para su construcción, así como recursos naturales (recursos maderables y no maderables: bambú, palmas, troncos, entre otros); principalmente se busca la utilización de materiales biodegradables para la construcción y cuentan con diseños vernáculos armónicos con el esquema del paisaje.

En lo referente al tratamiento de residuos sólidos cabe señalar que se realiza el proceso de compostaje, separación de residuos –orgánicos e inorgánicos–, reutilización y ocasionalmente la separación del vidrio.

Las aguas residuales de algunas empresas son tratadas a través de fosas sépticas y por filtros de arena, grava y arcilla. Es conveniente agregar que la mayoría de los operadores tiene dudas sobre la eficiencia del funcionamiento de sus sistemas de tratamiento de las aguas negras y grises.

Dos de las empresas ubicadas a orillas de la Laguna de Sontecomapan (Los Amigos y Manglares de Sontecomapan) han realizado acciones de reforestación. Algunas empresas (p. e. Los Amigos y Poza Reyna) han reconvertido su actividad productiva –en menor o mayor medida– desde una ganadería y agricultura extensiva a una finca integral sustentable, en donde se inserta el ecoturismo como una actividad que genera ingresos extra-finca para la obtención de beneficios económicos. En los recorridos de campo realizados se percibe que en los predios existen un 50% de cobertura vegetal nativa, otro 45% está destinado a actividades agropecuarias y un 5% está ocupado por infraestructura. Con todo ello se constata la presencia de un modelo de ecoturismo basado en la protección de los ecosistemas naturales de la zona.

Promoción de la sensibilización ambiental

Todos los sitios ecoturísticos estudiados cuentan con estrategias para fomentar la educación ambiental. Los Amigos, Manglares de Sontecomapan, hacen presentaciones orales en materia ambiental a los turistas; de manera informal lo realiza La Jungla, Cascadas Encantadas, El Teterete y Las Margaritas, interactuando con pláticas de manera verbal, si se presenta la ocasión; Prashanti la realiza a través de su página de internet y Nanciyaga brinda educación ambiental en sus recorridos y en sus folletos.

En su mayoría se fomenta la conservación de la vida silvestre, ofreciendo a los turistas información de las especies que habitan en la región y que son importantes para la regulación de los ecosistemas; además se fomenta la no extracción de flora y fauna de la zona y se prohíbe la compra ilegal de la misma. Casi todos los desarrollos ecoturísticos cuentan con un programa que fomenta la conservación de la vegetación nativa, con la finalidad de seguir preservando la biodiversidad de cada predio a través de programas de reforestación con especies nativas; algunas iniciativas –como Nanciyaga y Los Amigos, – se han registrado como Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA).⁷

Además, los sitios estudiados están trabajando en la elaboración de su programa de educación ambiental y programa de manejo de residuos sólidos, pero muchos de ellos, a pesar de contar con un programa de gestión de residuos presentan dificultades para el confinamiento final de los aquellos no degradables ni reciclables, debido a la falta de un servicio de limpieza pública regularizada.

PARTICIPACIÓN DE LA COMUNIDAD RESIDENTE

Como consecuencia de los tipos de organización que han adoptado las empresas de ecoturismo en la zona de estudio, es posible señalar que la participación de la comunidad residente se presenta de diversas formas; por un lado se registra en forma directa a partir de la presencia de sociedades cooperativas, en este caso la población local participa en la modalidad de socio y como empleado. Para el caso de las empresas particulares, la participación de la comunidad local tiende a concentrarse en los

⁷ De acuerdo con Gallina *et al.* (2009: 144) las Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), reguladas por la Ley General de Vida Silvestre (2000) y su Reglamento (2006), son espacios para promover esquemas alternativos de producción compatibles con el cuidado del ambiente, buscando con ello frenar o revertir los procesos de deterioro ambiental.

niveles medios y operativos de las empresas; finalmente tratándose de autoempleo –sobre todo en lo que a la elaboración de artesanías y productos artesanales se refiere– se presenta una mayoritaria participación de personas locales.

No obstante, también es posible identificar cierto nivel de concentración de las oportunidades de participación en el ecoturismo; p. e., algunas de las iniciativas comunitarias han terminado convirtiéndose en empresas familiares aún cuando: “...se invitó a toda la comunidad a participar, muchos vinieron pero como había que hacer faenas y dar cooperación o hubo que asistir a cursos pues poco a poco el grupo se fue haciendo más pequeño” (Olga, entrevista a profundidad). En este sentido es importante señalar las vías utilizadas para convocar la participación de las comunidades: “Como la invitación se hizo en la asamblea ejidal, pues entonces nos decían que era un proyecto de hombres y al principio no dejaban participar a las mujeres...” (Lucina, entrevista a profundidad).

El uso de los espacios tradicionales suele llevar aparejado el mantenimiento de estructuras de poder al interior de las comunidades; si lo que se desea es promover a través del ecoturismo una participación más extendida de la población local es importante considerar la estructura que guarda la propia comunidad y buscar vías alternativas que efectivamente impulsen proyectos incluyentes, tanto en lo que se refiere al género como a las otras formas de exclusión social.

Por otro lado y también de cara a la inclusión social, es importante considerar la inversión que las personas locales deben realizar en este tipo de iniciativas de reciente introducción: “...no teníamos nada, ni un plato... todo hubo que construirlo y pues pasó mucho tiempo antes de que nos ganáramos un peso” (Olga, *op. cit.*), particularmente en contextos donde es importante que la recuperación de dicha inversión sea a corto plazo:

“Al principio había mucha gente interesada, pero lo de las faenas, las cooperaciones, los cursos... se fueron desanimando, había que tomar cursos todo el día, toda la semana para aprender a cómo tratar al turista, los hombres si iban al curso pues ya no iban al jornal y pues ¿cómo mantenían a su familia?” - Lucina (op. cit.)

En las palabras de Olga y Lucina es posible identificar otro de los riesgos que puede presentar la introducción del ecoturismo en el medio rural; incluso cuando los proyectos cuenten con un porcentaje de financiamiento institucional, la participación en el ecoturismo puede quedar condicionada a los estratos sociales que tienen asegurado un determinado nivel de ingresos y se puede correr el riesgo de ahondar las diferencias entre los miembros de la comunidad.

PROMOCIÓN DE CULTURA LOCAL

En la mayoría de los casos las iniciativas han integrado la cultura local en la experiencia ecoturística a través de la utilización de la música y bailes regionales: “nos decían bailen como aquí y nosotras pues no, no sabíamos y pues por eso me metí a aprender baile regional y pues con otro socio y mi papá que es músico si ahora nos lo piden pues... bailamos” (Olga, *op. cit.*).

La participación de la cultura local está presente también en los diversos materiales visuales usados con fines publicitarios; en ellos, si bien la primera experiencia que se destaca es la de visitar la selva y aprender de ella, sin la presencia del paisanaje esta es entendida como una experiencia incompleta. Todas las empresas recurren a material visual donde se representa la cultura regional como elemento decorativo y de diseño en las instalaciones; en algunos casos la cultura regional adopta principios ecológicos que de lo contrario estarían ausentes, en la mayoría de los casos se trata de la revalorización de los recursos naturales con fines decorativos: “...*trajimos plantas que son de aquí para que se vieran bonitas las cabañas*” (Ana, entrevista a profundidad); pero también en ocasiones tiene una finalidad menos antropocentrista, lo cual permite identificar nuevas dinámicas de entendimiento de un desarrollo, si no compatible con la conservación, al menos sí menos agresivo.

Una revisión de la gastronomía que ofrecen las iniciativas nos permite también identificar el rol activo que juegan los platillos locales y regionales en el producto ecoturístico; la mayoría de las iniciativas ofrece gastronomía local, en algunos casos recuperando la producción de alimentos orgánicos o “de rancho”, como lo definen los lugareños.

También en la oferta de artesanías y productos artesanales destacan artículos como collares, aretes, bolsas, llaveros, recuerdos, entre otros, que son elaborados utilizando materias primas que se consiguen en la comunidad.

COHESIÓN Y CAMBIO SOCIAL

Es innegable que las iniciativas de ecoturismo de la RBT han incrementado la visibilización de la participación de las mujeres en la esfera productiva; en algunos casos la participación en el ecoturismo ha sido una oportunidad para detonar procesos de empoderamiento de estas. Destacan en este sentido algunas mujeres emblemáticas para quienes la participación en estas iniciativas ha sido vital para el acceso a diversos recursos con los cuales renegociar su “status” no solo a nivel comunitario sino incluso al interior del grupo doméstico.

Mas allá de los casos significativos se encuentran las mujeres que poco a poco usan su participación en el ecoturismo para plantearse el reconocimiento de sus aportaciones y llevar los cambios hasta la esfera doméstica. No obstante, la participación del grueso de las mujeres en la oferta de ecoturismo no ha sido capaz de romper con la feminización de espacios fuertemente vinculados en la cultura local con los denominados “trabajos de las mujeres”.

Con respecto a la cohesión social generada como consecuencia del ecoturismo es importante señalar que, para el caso de estudio, existen algunos indicios de acciones que pudieran apuntar hacia nuevas dinámicas de integración. En diferentes casos, a través de las empresas se apoyan actividades culturales que resultan significativas para la comunidad en general –p. e. la realización de las fiestas patronales o el apoyo en la construcción de espacios comunitarios para el disfrute–. También, entre las iniciativas comunitarias hay algunas que destinan algún monto para sobrellevar la enfermedad grave o el fallecimiento de algún miembro de la comunidad (p. e. Las Margaritas).

En general, el resto de la comunidad se siente más identificada con el ecoturismo cuando las iniciativas son comunitarias que cuando estas son particulares; es muy probable que lo anterior se deba a la estructuración de las actividades ecoturísticas –el ecoturista convive más directamente con la comunidad, p. e., a través de las relaciones familiares y/o de amistad de los socios que fungen como sus guías–; a través de estas acciones la comunidad ha podido ir estrechando su sentido y redescubriendo su valor. En las comunidades locales donde se ubican iniciativas particulares han podido generar una dinámica de integración con la actividad ecoturística, aunque en estos casos la dinámica se encuentra menos consolidada.

GENERACIÓN DE OPORTUNIDADES DE TRABAJO PRODUCTIVO

De acuerdo con los datos obtenidos por las entrevistas, es posible identificar los siguientes tipos básicos de oportunidades de trabajo creadas en las empresas:

1) Los trabajos formales de tiempo completo permanentes, 2) Los trabajos formales de tiempo completo por temporada, 3) Los trabajos formales de medio tiempo y, 4) Los trabajos informales.

Son pocas las empresas que logran ubicar a la mayoría de su personal en la primera categoría, pues casi todas suelen generar empleos de la categoría 2; todas las empresas recurren a la mano de obra extra en temporada alta.

En este sentido cabe señalar que algunas de las formas legales por las que han optado las iniciativas comunitarias les lleva a recurrir en primera instancia a la mano de obra de quienes conforman la sociedad; en algunos casos, cuando el socio no puede realizar el trabajo su propio grupo doméstico absorbe esta responsabilidad.

No se realizan análisis exhaustivos en este sentido, pero de manera general destaca el carácter temporal de las oportunidades de trabajo generadas por el ecoturismo en la RBT; debido a su carácter de actividad temporal, no es extraño que las personas involucradas en él sumen más de una fuente de ingresos; tampoco resulta extraordinario el diseño de estrategias familiares a fin de cumplir con la atención al ecoturista, en los períodos de temporada alta para no llegar a entorpecer la realización de otras estrategias de obtención de ingresos.

INTEGRACIÓN ENTRE LOS AGENTES ECOTURÍSTICOS

Entre las empresas ubicadas alrededor de los humedales de la RBT es posible identificar la presencia de relaciones entre los diversos agentes que participan en la gestión y desarrollo del ecoturismo, pero estas no se presentan al grado de poder calificarlas como una integración por diversas razones.

En primer lugar se presenta una descoordinación entre las instituciones de gobierno; así, el gobierno municipal mantiene una postura de desentendimiento con respecto a otras instituciones –a nivel federal o estatal– que directa o indirectamente gestionan el ecoturismo. Esta crítica no es sino una extrapolación de la problemática presente en otros niveles del ecoturismo, donde tampoco ha sido posible generar un programa coordinado y cada institución aplica sus recursos con criterios –no pocas veces– contradictorios, en un trasfondo en el que también están presentes las luchas de poder.

Destacando los aspectos positivos, hay que señalar que algunas iniciativas trabajan con diversas instituciones y organizaciones, pudiendo ser estas la propia Dirección de la RBT, ONG (organizaciones No Gubernamentales) o Instituciones de Educación Media y Superior; a través de estas relaciones los grupos de ecoturismo se han visto beneficiados en construcción de instalaciones, asesorías y otros apoyos. Algunas iniciativas llevan años trabajando con ONG o Instituciones de Educación, pero ha sido difícil que estas colaboraciones se extiendan en redes y abarquen otras iniciativas a fin de crear producto ecoturístico que identifique a todas; de tal suerte que hasta el momento funcionan casi siempre de forma individualizada entre uno o dos proyectos de ecoturismo e institución.

Las empresas también han recurrido a diversas estrategias para fortalecerse; no obstante, en la mayoría de los casos se trata de esfuerzos tendientes a la comercialización exclusivamente; entre las estrategias más recurridas se encuentran: el intercambio de experiencias, el subarrendamiento de servicios y la integración de otras actividades de la comunidad en el producto ecoturístico que comercializan.

Uno de los principales retos a vencer es la consideración de la empresa de al lado como la competencia: *...hay algunas iniciativas privadas, pequeñas también que están en las comunidades y alguien les rompe los letreros, lo hacen porque no quieren competencia* (Anónimo, entrevista libre), sin tomar en cuenta que ambas conforman el mismo producto ecoturístico. La necesidad de diferenciación como consecuencia de la diversidad en la calidad del producto aumenta el recelo entre las empresas –particularmente entre las que han adoptado un estilo más profesional– a vincularse entre sí.

En ningún momento deben minimizarse los esfuerzos por crear una masa crítica participativa capaz de, a su vez, crear sinergias; pero hay que reconocer que, de momento, entre las empresas ubicadas en los humedales de la RBT esa sinergia no existe.

RELACIONES MEDIO URBANO-MEDIO RURAL

De acuerdo con Vera *et al.* (1997) en el ecoturismo, la relación medio urbano-medio rural remite a un espacio emisor del turista –el urbano– y a otro receptor –donde se desarrolla la experiencia ecoturística. También en la Laguna de Sontecomapan y el Lago de Catemaco está presente un flujo ecoturístico proveniente del medio urbano, pero además algunas actividades de las empresas ecoturísticas tienen lugar en la ciudad; así, algunas empresas desarrollan sus actividades de promoción en el espacio urbano (p. e. Nanciyaga y Poza Reyna); pero el esquema administrativo y de gestión ha sido apropiado en las iniciativas comunitarias, las cuales en todo caso han externalizado la función de ventas hacia el medio urbano pero concentran en el medio rural la toma de decisiones (p. e. Las Margaritas y Manglares de Sontecomapan), en algunos casos apoyadas a través de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como sucede con Los Amigos.

En el caso de Nanciyaga sí se puede observar la existencia, más extendida, de espacios de base (donde se desarrolla el ecoturismo) y espacios de gestión (donde se concentra la actividad de administración); para esta empresa se pueden contar hasta tres espacios distintos: las instalaciones donde además se encuentran las oficinas de media y alta gerencia (medio rural); la oficina de ventas y el taller artesanal (medio

urbano) y el huerto orgánico (medio rural). En Nanciyaga se presenta un desplazamiento de la mano de obra (residente en el medio urbano) hacia los espacios de base de las empresas (ubicado en el medio rural); en este caso, el medio rural se ha convertido en un atractivo para una mano de obra calificada cuyo lugar de residencia es la cabecera municipal.

Respecto al abasto de productos alimenticios de primera necesidad ninguno de los sitios turísticos produce más del 30% de productos agropecuarios para alimentar a los turistas que reciben. El tipo de mercado al que recurren para satisfacer la demanda de alimentos de los turistas son productos obtenidos en el mercado local, regional, internacional y en menor medida son producidos en los huertos propios. Los Amigos, Nanciyaga, Bahía Escondida, El Teterete, producen en un 10% de alimentos en sus terrenos (el 4% del total de los insumos); los restantes sitios de ecoturismo son dependientes del mercado local y regional.

CONCLUSIONES

A manera de cierre queremos destacar la necesidad de continuar trabajando desde diversos frentes a fin de convertir al ecoturismo en la Laguna de Sontecomapan y el Lago de Catemaco en una opción productiva, sociocultural, medio ambiental y territorial viable.

En este sentido nuestras recomendaciones van estructuradas en dos apartados, primero destacando la necesidad de integración de la oferta a partir de trabajo conjuntos hacia el logro de un producto ecoturístico de calidad. Es importante que los sitios de ecoturismo a orillas de los humedales de la RBT, sean identificados como destinos de mercado verde y por ende sustentables y de tal manera se trabaje bajo un mismo esquema y visión sobre el manejo sustentable de los recursos ambientales, económicos y socioculturales en cada empresa ecoturística. Esto no generará competencia entre sí, sino una mayor competitividad turística que distinga a la zona y contribuya a su posicionamiento. En otras palabras, todos los agentes ecoturísticos deben relacionarse entre sí, contribuyendo a su desarrollo mediante acciones de manejo integrado y adecuado de los recursos, como p. e., diversidad de actividades en contacto con la naturaleza, buen grado de conservación de la flora y fauna, conservación de las tradiciones locales, gastronomía y una adecuada relación precio/calidad. Si se proveen servicios de calidad y cantidad diversificada se promoverá la ventaja competitiva de la región.

En lo referente a la generación de impactos de diversa índole como consecuencia de la presencia del ecoturismo en estos humedales, también es importante señalar una vez más la variabilidad de los efectos en los miembros de la comunidad, diferencias que deberán ser consideradas en el balance entre efectos negativos y positivos; en el ejercicio de ese interés por la comunidad y los proyectos que buscan el desarrollo rural sostenible es donde resulta posible encontrar un campo de acción que permita la apropiación de los proyectos de ecoturismo por parte de los residentes y una distribución más equitativa de los beneficios de su desarrollo.

La cantidad de beneficios y perjuicios que pueden resultar del ecoturismo lleva a cuestionar la implantación de esta actividad a través de la realización de un exhaustivo

análisis, sobre todo por quienes se verán afectados en primera línea y principales responsables del adecuado uso de los elementos naturales y culturales mediante compromisos éticos individuales y colectivos.

Motivo de reflexión también es el papel de complementariedad que debe jugar esta actividad dentro de la economía local, toda vez que el escenario donde se desarrollan las actividades de ecoturismo se caracteriza por la existencia de actividades económicas donde el turismo, de momento, se considera como una actividad secundaria; dos razones sirven para justificar lo anterior: el turismo a pequeña escala que caracteriza al modelo ecoturístico y la pronunciada estacionalidad de la actividad invitan a la prudencia ante las voces que declaran al ecoturismo como la cura de todas las enfermedades que aquejan a los humedales en la RBT.

NOTA METODOLÓGICA

La presente investigación recurre a una metodología cualitativa de corte transversal y cuyas principales herramientas metodológicas son la entrevista a profundidad (en sus modalidades de libre y semiestructurada) y la observación no participante.

La etapa de campo ha sido dividida en dos fases. En la primera (noviembre a abril, 2010) se explora la opinión de empresarios, socios y gerentes que componen tanto las empresas ecoturísticas asentadas en las zonas próximas al lago de Catemaco. En la segunda (septiembre a diciembre, 2011) se recaba información de las empresas establecidas en los márgenes de la Laguna de Sontecomapan y se termina de entrevistar a otros informantes clave vinculados con el desarrollo y gestión del ecoturismo.

En general se realiza un total de 35 entrevistas; a las cuales se efectúa un análisis de contenido a partir de las categorías medio ambiental, sociocultural y económica a través del software para análisis cualitativo de libre distribución Weft QDA.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- BARKIN, D. (2001). Superando el paradigma neoliberal: desarrollo popular sustentable. En *¿Una nueva ruralidad en América Latina?* Grupo de Trabajo Desarrollo Rural. Colección Grupos de Trabajo. Buenos Aires: CLACSO. Argentina, 17-29. Available at: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/rural/barkin.pdf>.
- CALDERÓN, H., GONZÁLEZ, R. y DURÁN, C. (2001). Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos acuáticos del Lago de Catemaco, Veracruz, México. *Contaminación Ambiental*, 7(1), 23-30.
- CARMONA, G., MORALES, J. y RODRÍGUEZ, E. (2004). Plan de Manejo para el Manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la Conservación de los recursos naturales. *Madera y Bosques*, 10 (N.º Especial 2), 5-23.
- CEBALLOS-LASCURAIN, H. (1994). Estrategia Nacional de Ecoturismo para México.
- CERVANTES, V., J. CARABIAS, V. ARRIAGA. (2008). Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental, In *Capital natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. México: CONABIO, 155-226.

- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP), Humedales de México. *Sitios Ramsar-CONANP*. Available at: <http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios.php>.
- (2009). *Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas. Informe final*, CONANP. Available at: http://www.conanp.gob.mx/q_anp.html.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO), Los Tuxtlas. Available at: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_080.html.
- (2009). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. México: CONABIO.
- (2009b). *Manglares de México: Extensión y distribución*. México: CONABIO.
- CÓRDOBA, J. *et al.* (2004). Efectos locales de políticas globales: Celestún y “su” reserva de la biosfera (Yucatán, México). *Anales de Geografía*, 24, 55-78.
- GALLINA, S. *et al.* (2009). Unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre en México (UMA). Retos para su correcto funcionamiento. *Investigación Ambiental*, 1,2, 143-152.
- GARCÍA, H., NEGRETE, A. y SENDAS, A.C. (2009). Estrategia para el anclaje institucional de una política de Educación Ambiental en Los Tuxtlas, Veracruz. In *Educación ambiental y manejo de ecosistemas en México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 155-178.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE) (1998). Bases ecológicas para el ordenamiento territorial de la región de Los Tuxtlas, Veracruz: reporte final de los mapas temáticos.
- LABORDE, J. (2004). La reserva de la biosfera. In *Los Tuxtlas. El Paisaje de la Sierra*. Xalapa: Instituto de Ecología A.C. - Unión Europea, 271-279.
- LÓPEZ, G. y PALOMINO, B. (2008). Políticas Públicas y Ecoturismo en comunidades indígenas de México. *Teoría y Praxis*, 5, 33-50. Available at: <http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx/doctos/Numero5/Lopez-Palomino.pdf>.
- MORENO-CASASOLA, P. *et al.* (2002). Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, 1, 61-68.
- MORENO-CASASOLA, P. y INFANTE, D. (2010). *Veracruz. Tierra de ciénagas y pantanos* 1ª. ed., Xalapa: Gobierno del Estado de Veracruz-Universidad Veracruzana.
- PARÉ, L. (2003). El ecoturismo comunitario y la gestión ambiental. In *Escuela rural y organización comunitaria: instituciones locales para el desarrollo y el manejo ambiental*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México - Plaza Valdés S.A. de C.V., 261-311.
- PIÑAR, M. (2012). *Gobernanza ambiental en destinos turísticos de áreas naturales protegidas Reservas de la Biosfera Los Tuxtlas (Veracruz, México) y Sierra Nevada-La Alpujarra (Andalucía, España)*. Xalapa: IETEC-Arana y Colegio de Veracruz.
- SEBA, P.M.A. (2009). “Estado de salud de las poblaciones de peces del Lago de Catemaco, Veracruz”. Tesis de Técnico en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Veracruzana. 52 p. Documento inédito.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE RECURSOS NATURALES Y PESCA (SEMARNAP). (1998). *Decreto de Reserva de la Biosfera, la región de Los Tuxtlas*. Diario Oficial de la Federación 23 de Noviembre de 1998.
- SECRETARÍA DE TURISMO (SECTUR), Centro de Estudios Superiores de Turismo (CESTUR) y REDES Consultores, 2000. *Estudio de Gran Visión del Turismo en México. Perspectiva 2020*, Available at: <http://www.sectur.gob.mx/work/resources/LocalContent/12214/4/GranVision.pdf>

- VÁZQUEZ, G. *et al.* (2006). Ríos y los lagos. In *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*. Xalapa: Instituto de Ecología A.C. - Unión Europea, 201-230.
- VERA, J. *et al.* (1997). *Análisis territorial del Turismo: una nueva Geografía del Turismo*, Barcelona: Ariel.

Aguas subterráneas y superficiales en el comportamiento de las Lagunas de Puebla de Beleña (Guadalajara)

Antonio Sastre-Merlín, Silvia Martínez-Pérez,
Carlos Carrera Olivares, Eugenio Molina-Navarro

Resumen: Las “Lagunas de Puebla de Beleña”, humedal endorreico en ambiente estepario, se ubican en un altiplano sobre la terraza más alta del río Jarama, al noroeste de Guadalajara (España). Integrado por dos lagunas de carácter estacional y marcada importancia ambiental, ha sido objeto de numerosas figuras de protección y está incluido en la lista de humedales RAMSAR.

Estas lagunas son alimentadas por una pequeña subcuenca endorreica de 298 ha, de pendiente muy escasa (0.5% en media), lo que propicia una morfología de los cuencos lagunares de fondo plano, una extensa superficie inundable y una profundidad inferior a 80 cm. El conjunto lagunar descansa sobre un acuífero formado por los materiales cuaternarios que componen la ya aludida terraza aluvial –arenas y gravas con intercalación de arcillas–, bajo los que subyacen materiales terciarios del Plioceno superior –arenas finas silíceas y limos arcillosos–. El régimen de llenado-vaciado de las lagunas responde claramente a la ocurrencia de precipitaciones en la zona, aunque se constata el importante papel que juega la proximidad del nivel freático al fondo lagunar en el sostenimiento de la lámina de agua.

Se ha establecido un modelo conceptual de funcionamiento de este humedal y un modelo matemático de simulación de su comportamiento hidrológico utilizando el programa VISUAL BALAN. Con pequeñas diferencias entre ambos modelos, se estima que, en media, la precipitación directa caída sobre las lagunas representa un 55% del agua almacenada en ellas, siendo este el principal aporte de agua y convirtiéndose en causa necesaria para que aparezca una lámina de agua libre. Un 25% del agua lagunar proviene de la escorrentía superficial generada en la cuenca vertiente y un 20% es escorrentía de base, lo que corrobora el destacado papel de las aguas subterráneas en la dinámica de este espacio natural.

Palabras clave: lagunas de Puebla de Beleña, humedal estepario, modelo hidrológico conceptual, Visual Balan, modelo hidrológico simulado.

Abstract: The “Lagunas de Puebla de Beleña”, endorheic wetland in steppe environment, are located on a high plateau on the more high terrace of the Jarama River, Northwest of Guadalajara (Spain). This wetland, composed for two seasonal lagoons of remarkable environmental importance, has been the subject of numerous figures of protection and is included in the list of RAMSAR wetlands.

These lagoons are fed by a small endorheic basin of 298 ha, very low slope (0.5% on average), which encourages a morphology of the bowls lagoon of flat bottom, a large flooded area and less than 80 cm deep. The wetland is located on an aquifer formed by Quaternary materials that make up the already aforementioned terrace alluvial –sands and gravels with collation of clays–, under which underlie Tertiary materials of the upper Pliocene –fine siliceous sand and clayey silt–. The regime of filling-emptying lagoons responds clearly to the occurrence of rainfall in the area, although one notes the important role that plays the proximity of the water table at the bottom lagoon in sustaining water.

We have been established a conceptual model of this wetland and a mathematical model to simulate the hydrological behaviour using the VISUAL BALAN program. With small differences between the two models, we have estimated that direct precipitation fall on lagoons represents, on average, 55% of the water stored in them; this being the main contribution of water and becoming necessary cause to bring up a free water table. 25% of water lagoon comes from surface runoff generated in the basin and 20% is provided by groundwater. This substantiates the prominent role of groundwater in the dynamics of this protected wetland.

Keywords: Puebla de Beleña Lagoons, steppe wetland, hydrologic conceptual model, Visual Balan, simulated hydrologic model.

1. INTRODUCCIÓN

Las Lagunas de Puebla de Beleña reciben su nombre del término municipal en el que se encuentran, Puebla de Beleña. Este municipio, con una población de 42 habitantes, se sitúa en la zona norte de la Comarca de la Campiña Alta, dentro de la provincia de Guadalajara (Castilla-La Mancha).

Las lagunas se localizan en una altiplanicie situada en el extremo norte de las Rañas, al pie de las estribaciones de la Sierra de Ayllón. La cuenca hidrográfica está constituida por 298 ha, con una altitud media de 950 m.s.n.m. y consta de dos masas de agua lagunas, la Lagunas Grande y la Laguna Chica. El cuenco sobre el que se encuentran ambas lagunas está instalado en la terraza fluvial, la más antigua, del Río Jarama, teniendo su origen en el proceso de desmantelamiento del pediplano generado a lo largo del Plioceno.

El agua de las lagunas es dulce, presentando signos de oligotrofia. La masa de agua tiene un marcado carácter estacional, manteniéndose las cubetas lagunares totalmente secas durante los meses del año coincidentes con el periodo estival. A pesar de ello, estas lagunas presentan un notable interés científico, tanto por la relevancia de la fauna –especialmente avifauna– que acoge, y también de la flora. Como hábitat en sí, representan igualmente un biotipo interesante, al entremezclarse en ellas tres ambientes, a saber, bosque, terreno agrícola y el propio ámbito lagunar. Por esta razón, este enclave constituye un refugio de biodiversidad en el interior de una zona

intensamente humanizada, jugando un papel capital en la conservación de la flora y fauna del relevante paisaje estepario del área.

Las lagunas fueron declaradas Reserva Natural por el Decreto 186/2001, de 2 de octubre (DOCM nº 114, 26 de octubre de 2001), contando con el preceptivo Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del correspondiente espacio natural.

Los principales cursos fluviales que recorren el área de estudio son el Río Jarama al oeste, el Río Sorbe al este, y el Río Torote al sur. También están presentes tres arroyos, dos afluentes del Henares –arroyos Grande y de las Dueñas– y uno del Jarama, el arroyo de Matarrubia, que discurre al oeste del humedal. A unos 6 km al noreste de las lagunas, sobre el río Sorbe, se encuentra una masa de agua artificial, el Embalse de Beleña, con una capacidad de almacenamiento de 53 Hm³. (CH Tajo, 2005).

2. OBJETIVOS

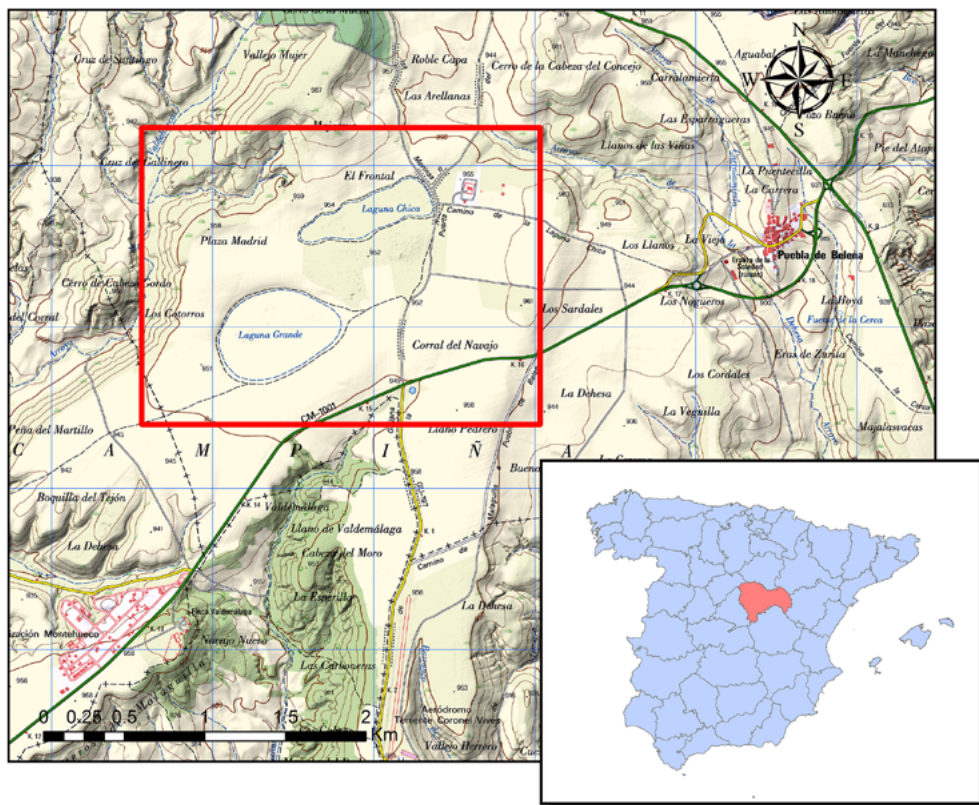
El objetivo principal de este trabajo es el análisis del comportamiento hidrogeológico de las referidas lagunas en relación con el entorno en que se hallan, entendiendo la zona a estudiar como una estructura hidrogeológica. Este objetivo se puede a su vez discretizar en otros dos, cuales son: a) establecer un modelo conceptual de la dinámica hidrológica de la cuenca, con el fin de resolver las incógnitas acerca de si la presencia de agua se debe a la recarga por precipitación, sostenida por la cercanía del techo del acuífero a la superficie, o por la llegada de agua desde este a los cuencos lagunares, b) elaborar un modelo de simulación hidrológica utilizando el código matemático Visual Balan 2 (Samper y García, 2004), que resuelve las ecuaciones del balance hidrológico de forma agregada en el suelo edáfico, la zona no saturada y el acuífero, requiriendo para ello un número reducido de parámetros. El análisis de la concordancia entre los resultados que proporcionan ambos modelos conforma el tercer objetivo asociado al estudio.

Además, en el presente trabajo se estudia la calidad físico-química y microbiológica de las aguas lagunares.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Las lagunas de Puebla de Beleña (Figura 1) (40° 53´ N/ 03° 15´ W) se localizan en la provincia de Guadalajara (Castilla-La Mancha), más concretamente en una altiplanicie en el extremo norte de la comarca de la Campiña Alta, al pie de las estribaciones de la sierra de Ayllón. Constituyen un complejo lagunar formado por dos masas de agua: Laguna Chica y Laguna Grande (Dirección General de Medio Natural, 2006), situadas a 950 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y con una extensión de 210 ha (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2014b).

Fig. 1: Localización de las Lagunas. (Google earth)



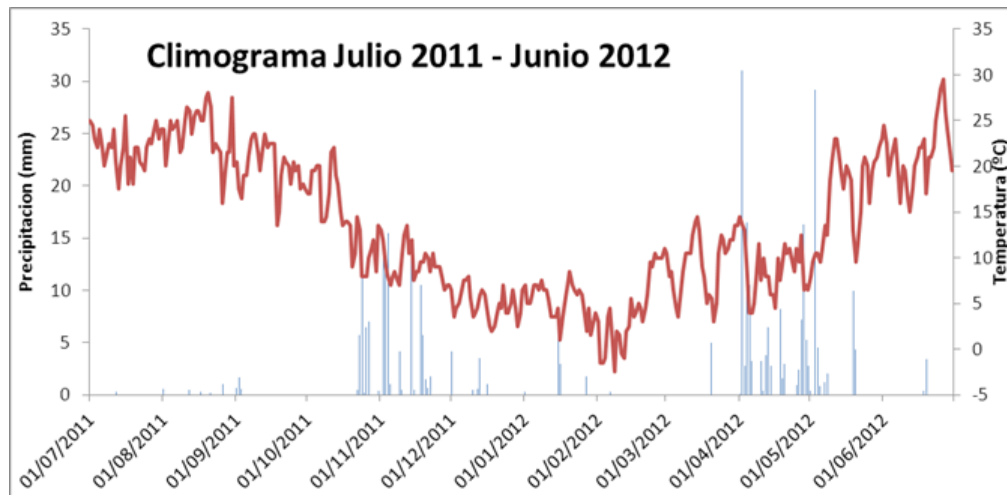
Las lagunas se encuentran en una cuenca endorreica de unos 3 km² de extensión, de carácter temporal y somero, siendo el agua –cuando está presente– hiposalina (Confederación Hidrográfica del Tajo, 2012). Se asientan sobre un substrato silíceo y están rodeadas de pastizales y cultivos de secano (Ruiz, 2001). Su estacionalidad condiciona su utilización por parte de la avifauna y favorece la existencia de comunidades vegetales diversas y singulares, adaptadas al contraste presencia-impresencia de la lámina de agua (Ruiz, 2002).

Desde el punto de vista climático, están bajo un clima “Mediterráneo templado”, con un régimen térmico de tipo “Mediterráneo cálido” y régimen de humedad “Mediterráneo seco”. Estas características climáticas favorecen la estacionalidad de las lagunas, que dependen principalmente de las precipitaciones y la escorrentía (Velasco *et al.*, 2002).

El reparto estacional de temperaturas está fuertemente marcado por un pico frío y uno cálido. Las temperaturas altas del verano explican el valor medio de 23°C, dando paso en otoño a una apreciable suavización térmica de oeste a este; durante el invierno, la temperatura media reinante se mantiene en 5.5°C. Estos valores ascienden rápidamente hasta situarse en primavera en torno a los 14°C, algo más altos que los que se registran en otoño (Figura 2).

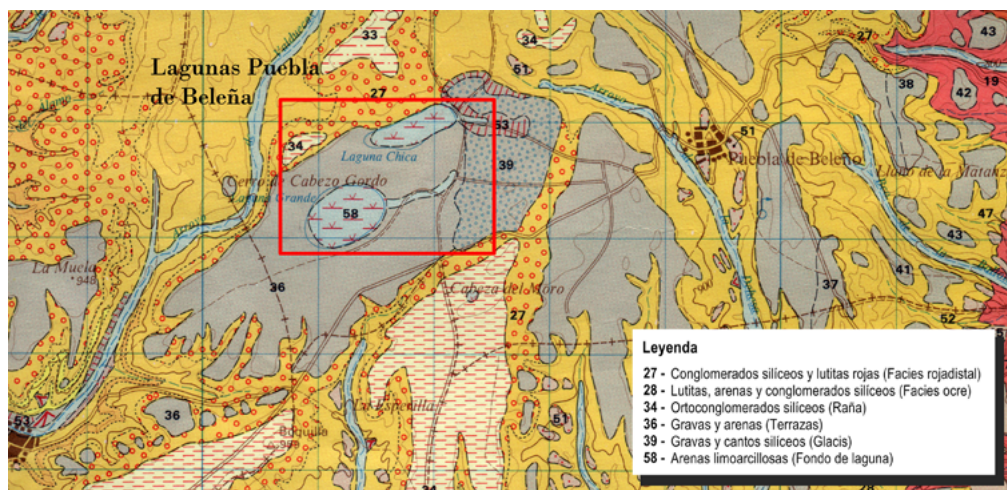
En cuanto a las precipitaciones, la situación de las lagunas dentro de la Alta Campiña, a caballo entre el piedemonte del Sistema Central y la campiña del Henares, arroja medias en torno a 500 mm/año. El momento de máxima pluviosidad se da en primavera, seguido del invierno. El verano es la etapa de mayor estiaje, en concreto los meses de julio y agosto. La estacionalidad marca profundamente la dinámica de las lagunas, pudiendo observarse su esplendor en primavera y su vaciado según se va afianzando el verano.

Fig. 2: Climograma julio 2011 – junio 2012



Desde el punto de vista geológico, el origen de estas lagunas se relaciona con la terraza más antigua del curso del río Jarama y la formación de la Raña (Figura 3) (Instituto Geológico y Minero de España, 1982). Se sitúan estas en el límite entre la zona oriental del Sistema Central y la Cuenca Meso-Terciaria del Tajo. El substrato de la cuenca lagunar está constituido por materiales terrígenos de edad miocena y pliocena, correspondientes con el relleno de la citada cuenca mesoterciaria del Tajo. Litológicamente, las lagunas se sitúan sobre un substrato de gravas, cuarcitas y arenas, con una pequeña porción de finos que, con un espesor de entre 6-7 m, forman parte del sistema de terrazas altas del río Jarama.

Fig. 3: Mapa geológico Hoja 485. (Instituto Geológico y Minero de España, 1982).



Como antes se ha avanzado, las lagunas son alimentadas fundamentalmente por el agua procedente de las precipitaciones, reconociéndose aportaciones variables de agua subterránea procedentes del substrato cuaternario y terciario (Dirección General de Medio Natural, 2006). En efecto, son de régimen estacional y de aguas dulces, relacionándose su existencia con el substrato silíceo de gravas y arenas silíceas sobre las que están dispuestas, materiales que, desde el punto de vista hidrogeológico, pueden contener y transmitir el agua subterránea procedente de la infiltración de la “lluvia útil” –i.e. la fracción del agua de lluvia que se zafa de ser evapotranspirada–.

Tales materiales, integrados por los depósitos de gravas y arenas correspondientes al sistema de terrazas altas del Valle del Jarama, están dispuestos sobre los conglomerados silíceos y lutitas rojas de la denominada “*Facies rojadista*” (Instituto Geológico y Minero de España, 1982), conformando un acuífero colgado respecto del nivel hidrogeológico regional; esos niveles de lutitas rojas podrían conferir un cierto carácter impermeabilizante a este conjunto detrítico subyacente a los que constituyen el cuenco lagunar, dificultando el eventual flujo descendente hacia las formaciones –igualmente de carácter detrítico pero mas heterométrico– aún mas infrayacente. Integran este último las lutitas y arenas finas ocre, arenas y conglomerados silíceos que conforman la “*Facies ocre*”.

Todo este conjunto se comporta como un acuífero multicapa de carácter semiconfinado, con transmisividades muy variables pero bajas, en torno a los 5 m²/día.

Centrándonos estrictamente en el substrato sobre el que se desarrolla la lámina lagunar, este está integrado por arenas limo-arcillosas con gravas y cantos dispersos, correspondientes a fondos de carácter endorreico o semiendorreico. Los suelos desarrollados sobre estos fondos endorreicos, dado el carácter estacional del encharcamiento, están sujetos a procesos de hidromorfismo, con presencia incluso de nódulos de Fe-Mn. Sedimentológicamente, estos materiales se encuadran dentro de las sub-facies medias de los sistemas de abanicos aluviales que rellenan este sector de la Cuenca del Tajo (RAMSAR, 2002).

Los valores ambientales de este complejo lagunar se ven reflejados en la destacable abundancia e importancia, tanto nacional como internacional, de flora y fauna que se puede encontrar en este humedal lo que ha propiciado su protección mediante diversas figuras (declaradas Reserva Natural en 2001, incluidas en la Lista Ramsar de humedales relevantes y recientemente incorporado a la Red Natura 2000) (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2014b; Red Natura, 2014). Es especialmente destacable la vegetación acuática y anfibia, ya que se debe adaptar a la estacionalidad de las lagunas, en las que se alternan periodos de máxima inundación con otros de total desaparición de la lámina de agua. La fauna, en especial la avifauna, también está ligada a la temporalidad de las lagunas, habiéndose citado también su importancia para la existencia de diversas especies de anfibios y mamíferos en ese paraje.

El uso agrario es dominante en el entorno del humedal de Puebla de Beleña, siendo el cereal de secano (trigo y avena) el cultivo principal (Dirección General de Medio Natural, 2006). El laboreo que se realiza genera sedimentos que contribuyen a la colmatación de las lagunas; también los fertilizantes y fitosanitarios utilizados pueden incorporarse a las lagunas, mermando la calidad de las aguas (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2014b).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Evolución de la lámina de agua en las lagunas

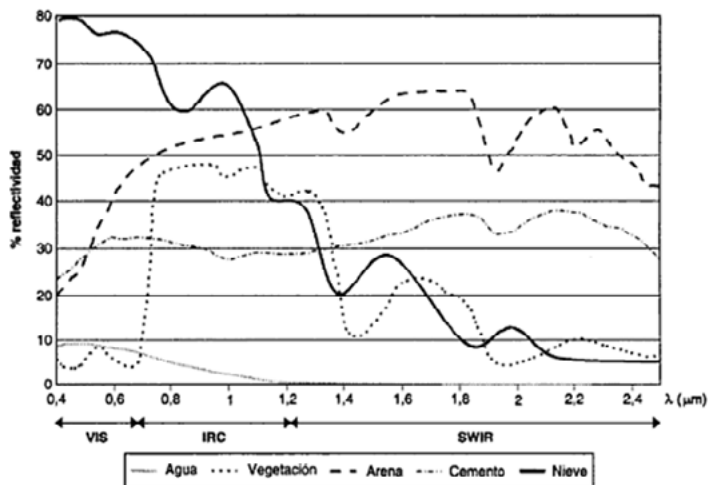
La evolución del agua en las lagunas, tanto en lo que se refiere a superficie mojada y volumen almacenado como a calidad, se viene estudiando mediante la instalación de tres puntos fijos (hitofenos) acotados topográficamente y georreferenciados en cada una de ellas. En dichos puntos se ha medido periódicamente la altura de la lámina de agua en ambas lagunas mediante el posicionamiento de estacas limnimétricas. Dicha altura será posteriormente relacionada con la superficie mojada, calculada esta a partir del procesamiento de imágenes satelitales.

Las imágenes de satélite utilizadas se han obtenido con el sensor Landsat TM y ETM (tamaño de pixel 30x30 m), partiendo de la consideración de que si se conoce para una fecha dada la superficie anegada y las características morfométricas de ambas lagunas, se puede obtener un valor aproximado del volumen de agua almacenado en ellas si se dispone de las medidas necesarias de la altura de la lámina de agua.

Se obtuvieron imágenes de la zona a estudiar del visor Glovis del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en distintas fechas, siendo el Sistema de Referencia Mundial (WRS-2) de la zona a estudiar el correspondiente con la franja (*path*) 201 y la fila (*row*) 32. Dichas imágenes fueron primeramente visualizadas con una composición falso color de bandas espectrales de 4,5,3 (IRC, SWIR, A) en los cañones rojo, verde y azul, para resaltar las masas de agua y poder determinar la presencia de agua en el cuenco de sendas lagunas (Chuvienco, 2006). Como puede observarse en la figura 4, la firma espectral del agua ofrece una máxima reflectancia en longitudes de onda cortas del espectro electromagnético visible (azul y verde), y va decreciendo a medida que la longitud de onda aumenta, siendo mínima a partir del infrarrojo cercano (0,8-1 μm) llegando incluso a anularse. Este comportamiento de los cuerpos de agua hace que sean relativamente fáciles de discriminar de otras cubiertas como la vegetación o

el suelo, debido a que las firmas espectrales de estas últimas presentan formas diferentes.

Fig. 4: Firmas espectrales de diferentes coberturas. Tomado de CHUVIECO (2006).



Para determinar la superficie inundada en cada uno de los momentos de los que se dispuso de imágenes se aplicó una variante del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI). El NDWI emplea los canales espectrales verde e IRC (2 y 4 respectivamente del sensor TM), maximizando las características del agua en la longitud de onda del verde y minimizando la baja reflectancia que presenta el agua en el IRC, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$NDWI = (2 - 4) / (2 + 4)$$

Para la realización de este estudio se emplearon los canales 1 y 5, es decir, azul e infrarrojo de onda corta (SWIR). Este criterio viene justificado por dos razones principalmente:

- La elevada cobertura de vegetación emergente en épocas de encharcamiento en la cubeta de las lagunas enmascara parte de la superficie inundada cuando se emplea la banda verde (2), siendo la azul (1) la que ofrece valores más fidedignos. El principal inconveniente de la banda azul es el elevado ruido atmosférico que presenta por efecto de la dispersión *rayleigh* (originada por aerosoles y vapor de agua), pero dado que las imágenes empleadas fueron seleccionadas por su escasa cobertura de nubes, dicho problema se ve notablemente reducido.
- Según Bustamante *et al.* (2005) la banda 5 de TM es el mejor indicador de inundación en situaciones de aguas someras, turbias o con abundante vegetación emergente o flotante, pues siendo la banda 4 un buen indicador de aguas libres, falla si el agua contiene sedimentos o vegetación emergente.

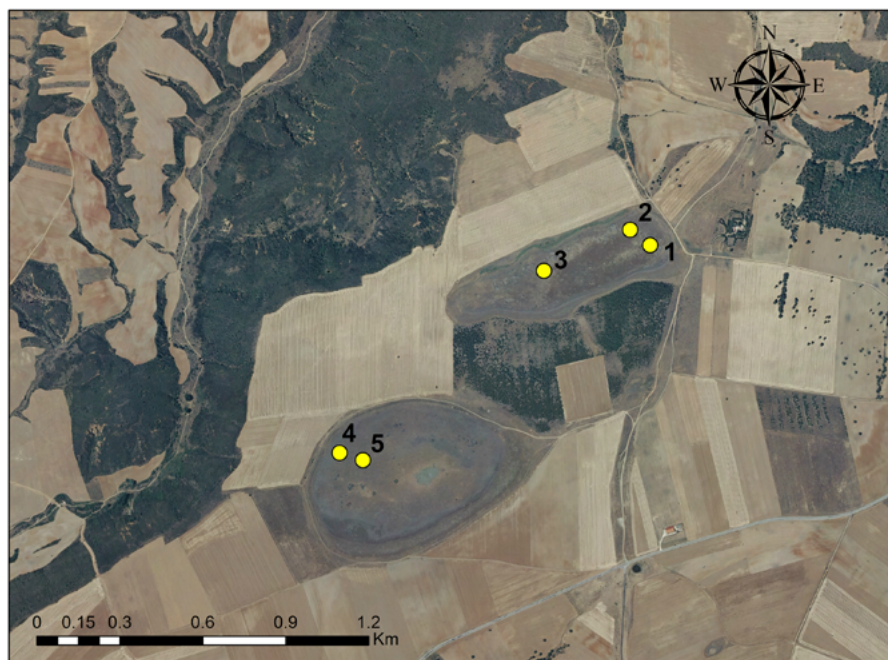
Una vez hecha esta aclaración, el índice de agua normalizado empleado viene expresado mediante la ecuación:

$$IA = (2-5)/(2+5)$$

En el momento de máxima inundación se ha medido la profundidad de la lámina de agua de cada una de las dos lagunas en 5 puntos, con el objetivo de calcular de forma aproximada el volumen contenido en estas a partir de la superficie inundada, determinada a partir de la imagen satelital correspondiente a la fecha más próxima. Una vez obtenida la relación *superficie-profundidad* para ese momento de máximo llenado, se ha establecido la profundidad correspondiente a cualquier otra fecha a partir de la superficie que registran las imágenes espaciales.

Para poder relacionar la evolución del nivel freático con la altura de la lámina de agua, se han instalado cinco piezómetros desde el borde al centro del cuenco lagunar de entre 50 cm y 1 metro de profundidad, dos de ellos en la Laguna Grande y tres en la Laguna Chica (Figura 5).

Fig. 5: Situación de los piezómetros en las Lagunas

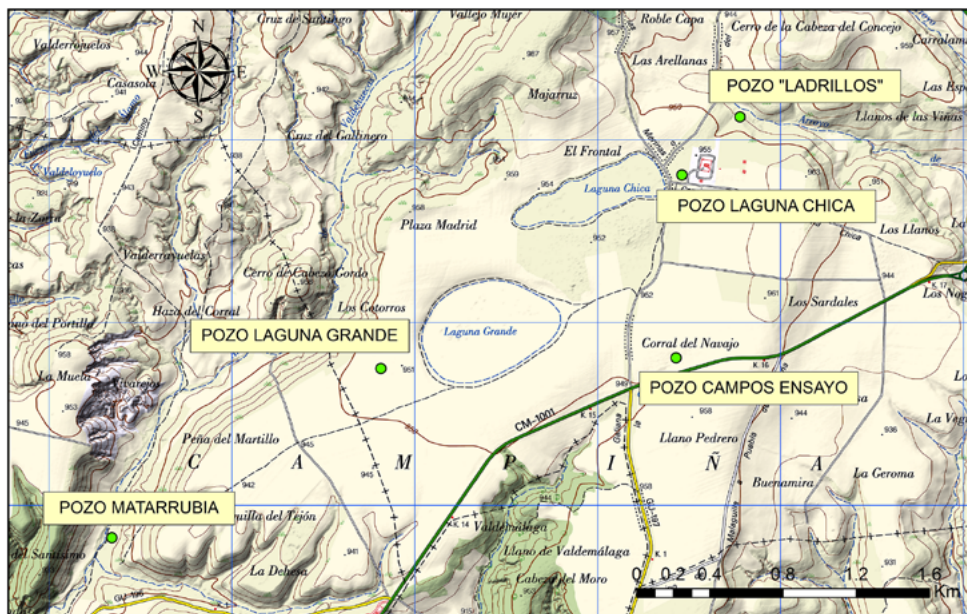


Para la instalación de estos piezómetros se utilizó una barrena de dos metros de profundidad, aprovechándose la ejecución de los sondeos para la toma de muestras de suelo. Estas muestras fueron tomadas en bolsas de papel y analizadas por un laboratorio especializado. Se han determinado los siguientes parámetros: textura, materia orgánica oxidable, conductividad eléctrica, cationes de cambio (calcio, magnesio, potasio y sodio) capacidad de intercambio catiónico, porcentaje saturación de bases, carbonatos y pH.

Por otro lado, se dispone de un inventario de cinco puntos de agua –pozos– georreferenciados y acotados topográficamente (Figura 6). En dichos pozos, ubicados en el

entorno inmediato de las lagunas, se viene midiendo de forma regular la profundidad de la lámina de agua desde 1997, utilizando un hidronivel Nordmeyer Lange Meter.

Fig. 6: Puntos de muestreo de agua subterránea



Asimismo, desde el inicio del seguimiento se han realizado numerosas campañas de muestreo del agua subterránea, recogiendo las muestras de agua en cada pozo mediante un tomamuestras "ad hoc", para su posterior análisis, igualmente, en un laboratorio especializado. Además, en cada muestra recolectada se ha determinado in situ la conductividad y la temperatura utilizando un conductímetro CRISON CM35 con célula 5060.

Finalmente, para estimar el balance de agua en las lagunas, se dispone de datos meteorológicos pertenecientes a la estación del embalse de Beleña, que han sido proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT) y de las estaciones meteorológicas cercanas, cuyos datos han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Establecimiento del modelo hidrológico conceptual

El estudio de la dinámica hidrológica de las lagunas y su comportamiento en relación con las aguas subterráneas fue llevado a cabo mediante la ecuación del balance hídrico aplicada a la cuenca hidrológica vertiente:

$$\text{Entradas (E)} = \text{Salidas (S)} \pm \text{Variación de Almacenamiento (VA)}$$

Donde:

- Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre el cuenco de las lagunas (P), la escorrentía superficial procedente de la cuenca vertiente (Q) y las aportaciones por descarga subterránea del medio hidrogeológico hacia las mismas (ES).
- Las salidas se pueden definir como la evaporación que se produce en la lámina de agua

de las lagunas (Ev) y las relacionadas con el flujo subterráneo desde las lagunas hacia los materiales de su entorno (SS).

- La variación del almacenamiento (VA) es la diferencia de agua almacenada en las lagunas entre dos medidas consecutivas. Este parámetro ha sido calculado a partir de la superficie lagunar estimada en cada mes en el que se poseen imágenes satelitales, considerando que la profundidad media de la lámina de agua es de 0,4m en su momento de máximo llenado y considerando así mismo que existe relación lineal entre la superficie lagunar ocupada por la lámina de agua y la profundidad de la misma.

Así pues, la anterior ecuación, para un determinado periodo de tiempo, se puede expresar de la siguiente forma:

$$(1) P + Q + ES = (Ev + SS) +/- VA$$

Dado que uno de los objetivos del estudio es conocer la citada relación de las lagunas con el medio hidrogeológico, de la ecuación (1) se puede despejar el flujo subterráneo neto (G) en relación con la laguna (Benavente *et al.*, 1997):

$$(2) G = ES - SS = Ev - (P + Q) +/- VA$$

De este modo la ecuación que describe el balance en las lagunas en un momento determinado se configura como sigue:

$$(3) Vf = Vo + (P + Q) - Ev +/- G$$

Donde Vf es el volumen final de agua presente en la laguna en un mes dado, Vo el volumen inicial en la laguna, es decir, el volumen inmediatamente anterior al objeto de estudio en el que se poseen valores de volumen almacenado y G es el flujo neto de agua subterránea entre el acuífero y las lagunas. Así puede observarse que VA es en realidad la diferencia entre Vf y Vo:

$$(4) VA = Vf - Vo$$

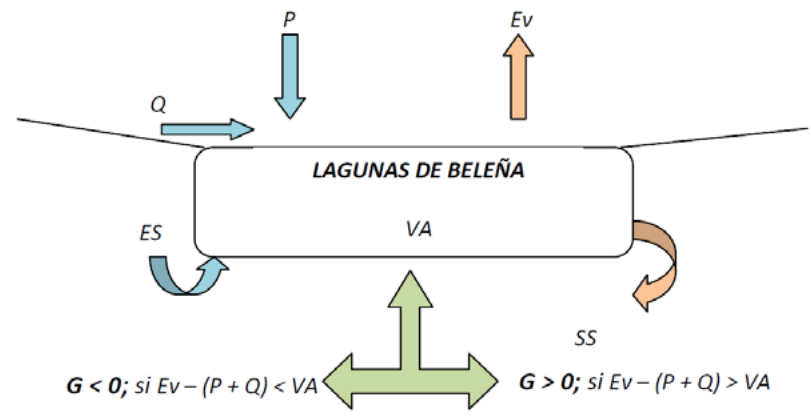
Así, para el primer mes del año en el que aparece lámina de agua libre en las lagunas, Vo será igual a cero, siendo su valor para los restantes meses igual a Vf calculado en el mes inmediatamente anterior en el que ha sido posible establecer el balance (es decir, en el que se posee imagen satelital que permita la estimación del volumen de agua). En la figura 7 se muestra un esquema conceptual del balance que se plantea. Es importante reseñar que el resultado de aplicar la anterior ecuación es un valor del flujo subterráneo neto, que puede ser positivo (el agua entra desde el terreno hacia el complejo lagunar) o negativo (recarga del acuífero por el flujo de agua procedente del vaso de las lagunas hacia los materiales permeables).

La escorrentía superficial media mensual en la cuenca de las lagunas fue determinada siguiendo el método empleado por *Pividal (1999)* en su tesis doctoral. Esta metodología se estructura en tres pasos:

- 1) Cálculo de los excedentes hídricos generados en la cuenca hidrológica mediante un balance de agua en el suelo, a partir de unos valores de precipitación y de evapotranspiración, estimada esta última mediante la fórmula de Thornthwaite.

- 2) Asignación de valores medios representativos de permeabilidad (K) y de pendiente (m) de la zona evaluada, para posteriormente calcular el "índice de escorrentía" (Ie) y el coeficiente de escorrentía (CE).
- 3) Estimación de la infiltración y la escorrentía superficial media a partir del valor de los excedentes no evapotranspirados y del coeficiente de escorrentía.

Fig. 7: Modelo conceptual del balance hídrico en las lagunas



Por último, las variaciones de almacenamiento se determinaron mediante los resultados obtenidos del análisis de las imágenes de satélite. Asumiendo una relación lineal entre el área inundada y la profundidad de las lagunas –pues las cubetas de las mismas presentan un perfil bastante uniforme– y conociendo la profundidad de estas cuando se encuentran a su mayor capacidad de embalse, se pudo estimar cómo varía el almacenamiento en las mismas en los diferentes momentos en que se dispuso de imágenes.

Modelo de simulación hidrológica establecido con VISUAL BALAN

En relación con los valores de entrada al modelo, se ha establecido una única sub-cuenca de 2.98 km² y se han utilizado valores diarios de temperatura y precipitación de los once últimos años hidrológicos, considerando como referente piezométrico para la validación de los resultados el pozo de la Laguna Chica. La Tabla 1 recoge los valores de entrada al modelo asignados a los principales parámetros.

Caracterización físico-química y microbiológica de las aguas

Perfil físico-químico

La caracterización físico-química de las muestras de agua –tanto las recolectadas en ambas lagunas como las recogidas en los puntos de agua que componen la red de control– se ha realizado mediante el análisis, entre otros, de los aniones y cationes mayoritarios, además de los parámetros físico-químicos fundamentales (temperatura, pH y conductividad) y de otros elementos como dióxido de silicio, hidróxidos, B, Fe y Mn, así como de las relaciones geoquímicas más significativas. En aras de facilitar la

interpretación de los valores obtenidos, se ha procedido a la representación gráfica en los diagramas de Schoeller-Berkaloff y Piper mediante el programa INQUAS (IGME, 2012).

Tabla 1: Valores de entrada al modelo VISUAL BALAN para las Lagunas de Puebla de Beleña

Componentes del balance hídrico	Parámetros del modelo de Balance Hídrico	Modelo unicelular
Suelo edáfico	<i>Porosidad total</i>	0.4
	<i>Punto de Marchitez, PM</i>	0.2
	<i>Capacidad de Campo, CC</i>	0.33
	<i>Reserva Útil RU=CC-PM</i>	65 mm
	<i>Humedad inicial</i>	0.12
	<i>Espesor del suelo</i>	0.5 m
	<i>Conductividad hidráulica</i>	0.15 cm/s
Recarga en tránsito	<i>Diferida</i>	Método convencional
	<i>Directa</i>	Por Flujo Preferente
Evapotranspiración potencial, ETP	<i>M. Pennan Grindley: CRPG = 60 mm; CEPG = 0.5</i>	
Evapotranspiración real, ETR	<i>Thornthwaite</i>	
Escorrentía superficial	<i>Numero de curva</i>	86
	<i>Lluvia mínima de aguacero</i>	0 mm
Zona No Saturada	<i>Coefficiente de agotamiento del flujo hipodérmico</i>	0.005 1/día
	<i>Permeabilidad vertical</i>	0 mm/día
	<i>Coefficiente de agotamiento de la percolación</i>	0.5 1/día
	<i>Humedad inicial</i>	0 mm
Acuífero	<i>Coefficiente de almacenamiento</i>	0.11
	<i>Nivel inicial</i>	942 m
	<i>Nivel de referencia</i>	940 m
	<i>Coefficiente de agotamiento del acuífero</i>	0.0019 1/día

Microbiología

El análisis microbiológico se ha realizado a partir de muestras tomadas en botellas estériles de dos litros, recogidas en cada una de las lagunas a una distancia mínima de 2 metros de la orilla. En dichas muestras se ha determinado la presencia de *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Aerobios mesófilos*, *Oligotrofos*, *Hongos* y *Levaduras* y *Pseudomonas*. El cultivo de las placas se ha realizado por duplicado en un entorno estéril, inoculando 200 µl de agua sin diluir y diluida (1:10), de la muestra tomada en cada laguna. Las placas con diferentes medios de cultivo se incubaron a las temperaturas de 37 y 22 °C durante 48 horas; pasado este tiempo se procedió al recuento de las colonias.

5. RESULTADOS

Evolución de la lámina de agua en las algunas

Parámetros climáticos

Los datos climáticos empleados para la realización del estudio proceden de la estación meteorológica del embalse de Beleña (CHT).

La precipitación media en la zona para el periodo considerado es de 582 mm, considerándose como año “seco” aquel con una pluviometría al menos un 15% inferior a la media aritmética; año “húmedo” aquel en que las precipitaciones superan al menos en un 15% a la media; y año “medio” al comprendido entre ambos extremos. El año más seco de los estudiados fue el 2004-2005 con una precipitación total de poco más de 300 mm, mientras que en el más húmedo (1996-1997) la precipitación estuvo en el entorno de 850 mm (Figura 8).

Fig. 8: Clasificación pluviométrica de los años de la serie estudiada.



La temperatura media anual es de 13,4°. Las medias máximas se alcanzan en los meses de julio y agosto, con más de 23,5°; las mínimas, en enero, presenta un valor ligeramente inferior a los 4,5°, siendo la amplitud térmica anual para un año medio tipo de casi 20°. En cuanto a las máximas y mínimas absolutas, se registraron 42°C de máxima en agosto de 1991 y una mínima de -11°C en febrero de ese mismo año.

El valor de la evapotranspiración se ha estimado por el método de Thornthwaite. La ETP anual para un año medio asciende a 783 mm, con valores que superan los 100 mm en los meses de junio a septiembre, coincidiendo con los meses de máxima temperatura y actividad fisiológica de la vegetación.

Para la determinación de la escorrentía se ha realizado un balance de agua en el suelo, con el fin de estimar los excedentes generados en la cuenca de las lagunas durante un año hidrológico medio. Dado que no se dispone de datos fehacientes de la capacidad de retención de agua del suelo (R), se ha considerado que esta debe

situarse entre 90 y 120 mm, calculándose los excedentes para estas dos posibles situaciones (tablas 2 y 3).

Tabla 2: Balance de agua en el suelo para un valor de R=90mm.

(mm)	P	ETP	ETR	ΔR	R	Q	D
OCT	116,73	48,75	48,75	67,98	67,98	0,00	0,00
NOV	56,01	25,73	25,73	30,28	90,00	8,26	0,00
DIC	41,83	11,88	11,88	0,00	90,00	29,95	0,00
ENE	84,99	9,82	9,82	0,00	90,00	75,17	0,00
FEB	50,61	12,25	12,25	0,00	90,00	38,36	0,00
MAR	71,96	31,00	31,00	0,00	90,00	40,96	0,00
ABR	84,56	43,55	43,55	0,00	90,00	41,01	0,00
MAY	70,07	79,21	79,21	-9,14	80,86	0,00	0,00
JUN	48,13	115,14	115,14	-67,01	13,86	0,00	0,00
JUL	13,29	150,18	27,14	0,00	0,00	0,00	123,04
AGO	27,04	148,23	27,04	0,00	0,00	0,00	121,19
SEP	41,26	107,59	41,26	0,00	0,00	0,00	66,32
TOTAL	706,49	783,32	472,77			233,71	310,55
TOTAL CUENCA (hm³)	2,11	2,34	1,41			0,70	0,93
CUENCA SIN LAGUNAS (hm³)	1,75	1,94	1,17			0,58	0,77

Tabla 3: Balance de agua en el suelo para un valor de R=120mm.

(mm)	P	ETP	ETR	ΔR	R	Q	D
OCT	116,73	48,75	48,75	67,98	67,98	0,00	0,00
NOV	56,01	25,73	25,73	30,29	98,27	0,00	0,00
DIC	41,83	11,88	11,88	29,95	120,00	8,22	0,00
ENE	84,99	9,82	9,82	0,00	120,00	75,17	0,00
FEB	50,61	12,25	12,25	0,00	120,00	38,36	0,00
MAR	71,96	31,00	31,00	0,00	120,00	40,96	0,00
ABR	84,56	43,55	43,55	0,00	120,00	41,01	0,00
MAY	70,07	79,21	79,21	-9,14	110,86	0,00	0,00
JUN	48,13	115,14	115,14	-67,01	43,86	0,00	0,00
JUL	13,29	150,18	57,14	-43,86	0,00	0,00	93,04
AGO	27,04	148,23	27,04	0,00	0,00	0,00	121,19
SEP	41,26	107,59	41,26	0,00	0,00	0,00	66,32
TOTAL	706,49	783,32	502,77			203,72	280,55
TOTAL CUENCA (hm³)	2,11	2,34	1,50			0,61	0,84
CUENCA SIN LAGUNAS (hm³)	1,75	1,94	1,24			0,50	0,69

Para un valor de capacidad de campo del suelo de 90 mm los excedentes generados son de 234 mm. Las reservas del suelo se llenan en el mes de noviembre, comenzando a partir de este mes a producirse excedentes hasta el mes de abril. La ETR supone casi el 67% de las precipitaciones recibidas en la cuenca de las lagunas (frente al 33% de los excedentes), comenzando a minorarse el agua de la reserva en mayo y vaciándose esta en julio. Considerando un valor de $R = 120$ mm, el volumen de excedentes de la cuenca se ve reducido como consecuencia de que el suelo tiene una mayor capacidad de almacenamiento de agua (203 mm frente a 233 mm), retrasándose el llenado total de la reserva hasta el mes de diciembre. Este mayor valor de la reserva también repercute en los valores de ETR por la misma razón, haciendo que en este caso, su valor se vea incrementado de casi 473 mm a 503 mm.

De la tabla anterior se deduce una permeabilidad media para toda la cuenca de 160 m/día aproximadamente, pues el valor de la permeabilidad ponderada de los materiales terciarios que afloran en la cuenca (rañas y facies roja distal) es tan sumamente bajo que se ha considerado despreciable, lo que nos da un de IE de 80.

Dividiendo el IE entre el valor de la precipitación anual (mm) obtendremos un coeficiente de escorrentía (CE) que indica el porcentaje de la precipitación que circula sobre el terreno.

$$CE = (IE/P) \times 100 \quad CE = (80/706,5) \times 100 = 11,32\%$$

Este valor de CE indica que el 11,32% de las precipitaciones que caen sobre la cuenca de las lagunas se transforma en escorrentía superficial ($Q_{\text{superficial}}$), mientras que el 88,68% restante está constituido por la suma de la ETR y la escorrentía de base (Q_{base}), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P = ETR + Q_{\text{superficial}} + Q_{\text{base}}$$

Para obtener un valor final de escorrentía superficial media anual se considera que esta se genera sobre la totalidad del área de la cuenca, a excepción de las dos cubetas lagunares, pues el agua que cae sobre ambas lagunas se considera una entrada directa de agua al sistema por precipitación. De este modo, se estima que el volumen de escorrentía superficial generado en un año medio es de $0,198 \text{ hm}^3$. Consecuentemente, la escorrentía de base y, en consecuencia, la alimentación de agua subterránea a las lagunas se calcula como sigue:

$$Q_{\text{base}} = P - (ETR + Q_{\text{superficial}})$$

$$Q_{\text{base}} = 1,75 \text{ hm}^3 - (1,17 \text{ hm}^3 + 0,2 \text{ hm}^3) = 0,38 \text{ hm}^3; \text{ si } R = 90 \text{ mm.}$$

$$Q_{\text{base}} = 1,75 \text{ hm}^3 - (1,24 \text{ hm}^3 + 0,2 \text{ hm}^3) = 0,31 \text{ hm}^3; \text{ si } R = 120 \text{ mm.}$$

Entre el 62% y el 65,5% de los excedentes generados en la cuenca pasan a formar parte de las aguas subterráneas, situándose, por tanto, la escorrentía superficial entre el 34,5 y 38 %.

Modelo de la dinámica hidrológica del humedal

La variación en la superficie inundada (relacionada con las fluctuaciones de la altura de la lámina de agua) es el aspecto más característico de las Lagunas de Puebla

de Beleña, como consecuencia de la estacionalidad a que están sometidas. Estas variaciones tienen efectos directos en el tamaño del sistema, en la dinámica de las poblaciones y en las interacciones tróficas (Bécares *et al.*, 2004). Por ello, uno de los aspectos más interesantes de estos sistemas acuáticos estacionales es el relacionado con los ritmos de inundación, pues estos determinan –junto con la disponibilidad de nutrientes y el estado trófico– el funcionamiento de estos lagos someros. En la figura 9 se muestran cuatro imágenes de las lagunas tomadas en campo en momentos diferentes del año hidrológico, poniéndose de manifiesto la estacionalidad de estas.

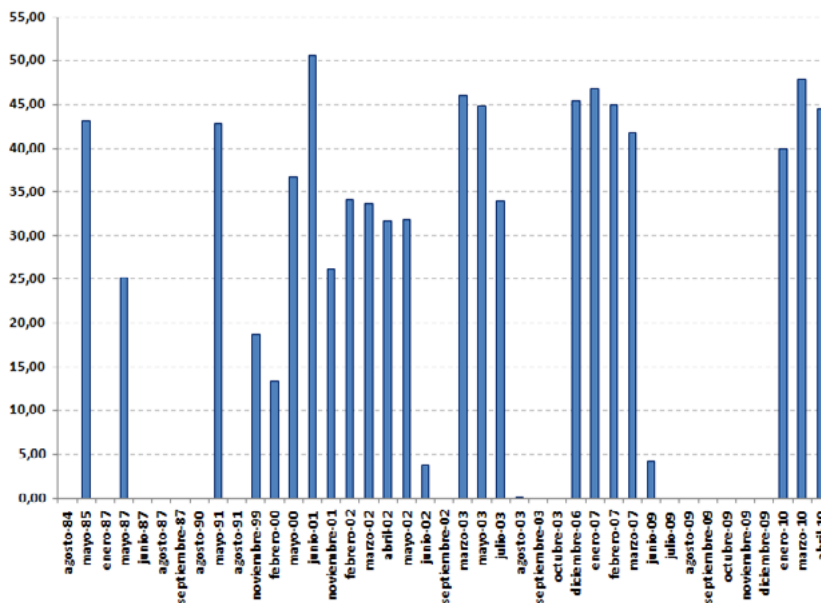
Fig. 9: Imágenes de las lagunas de Puebla de Beleña en diferentes momentos del año.



La primera de ellas corresponde a noviembre de 2009, momento en que el nivel freático se encontraba a 1,6 metros de profundidad en el pozo de la Laguna Chica. La segunda es de enero de 2010 tras un periodo de lluvias en el cual el nivel del pozo en la Laguna Chica llegó a estar casi en superficie. La tercera es del mes de marzo de 2010, con un nivel en el pozo de la Laguna Chica similar al que había en enero y la cuarta a junio de 2010 (con el nivel en el mismo pozo a 0,6 m).

A una escala temporal mayor, esta dinámica hídrica del humedal queda reflejada en la figura 10, en la que se representa la evolución de la superficie cubierta por agua en diferentes fechas (obtenida mediante imágenes del sensor Landsat TM y ETM).

Fig. 10: Evolución de la superficie inundada (ha) en las lagunas

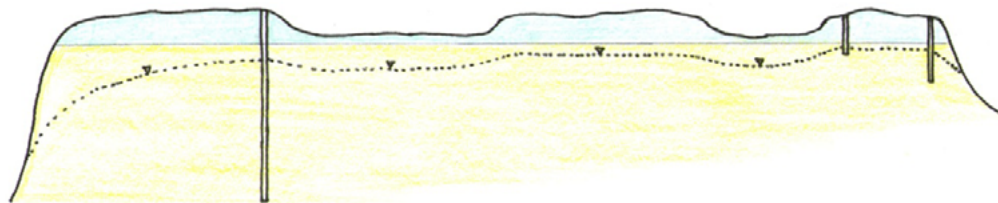


De forma general, las lagunas se desecan durante la estación estival (julio y agosto), permaneciendo sin presencia de agua hasta la siguiente estación húmeda, momento en el que comienza el hidroperiodo. El inicio de este hidroperiodo vendrá definido entre otros factores por el estado de humedad previo del suelo, las precipitaciones y la cota del nivel freático del acuífero constituido por el aluvial cuaternario.

Las figuras 11, 12, 13 y 14 presentan un modelo hidrológico simplificado de la relación entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas en las lagunas.

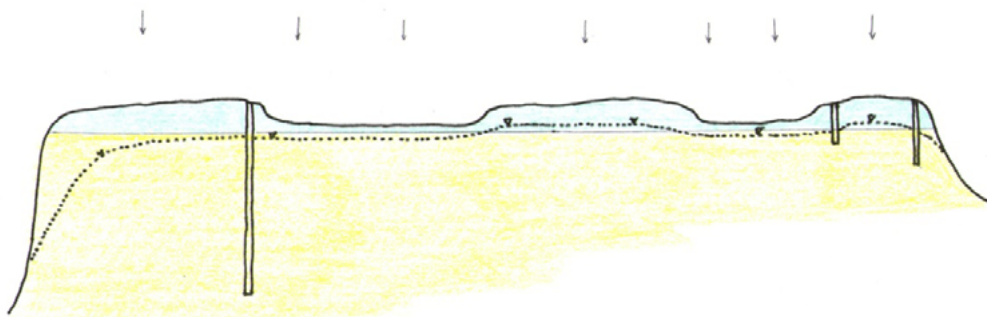
En la figura 11 se representa el estado de los niveles al comienzo de la temporada de lluvia, en los meses de otoño. Los cuencos lagunares se encuentran secos y los pozos presentan los niveles más bajos del año.

Fig. 11: Relación aguas superficiales-aguas subterráneas en otoño.



Con la llegada del invierno y las primeras precipitaciones, asciende la altura de la lámina de agua en los pozos, pero sin llegar a interesar el fondo de las lagunas (Figura 12). El sustrato de estas luce un aspecto húmedo y acolchado, muestra de la cercanía del nivel freático a la superficie del fondo lagunar.

Fig. 12: Relación aguas superficiales-aguas subterráneas en invierno.



Los niveles siguen ascendiendo paulatinamente durante la primavera (Figura 13), para descender en verano (Figura 14) hasta que de nuevo se secan.

Fig. 13: Relación aguas superficiales-aguas subterráneas en primavera.

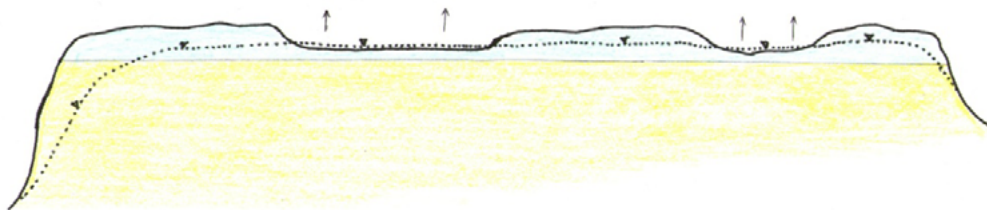
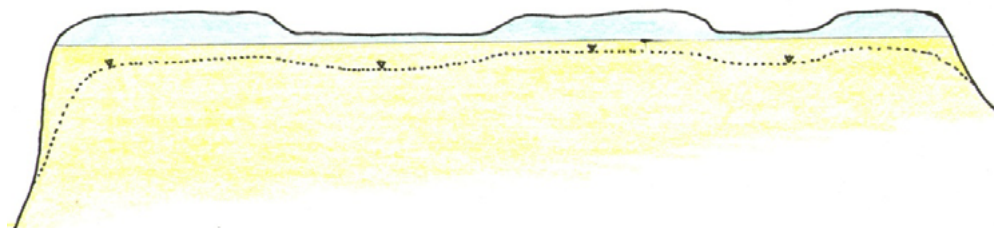


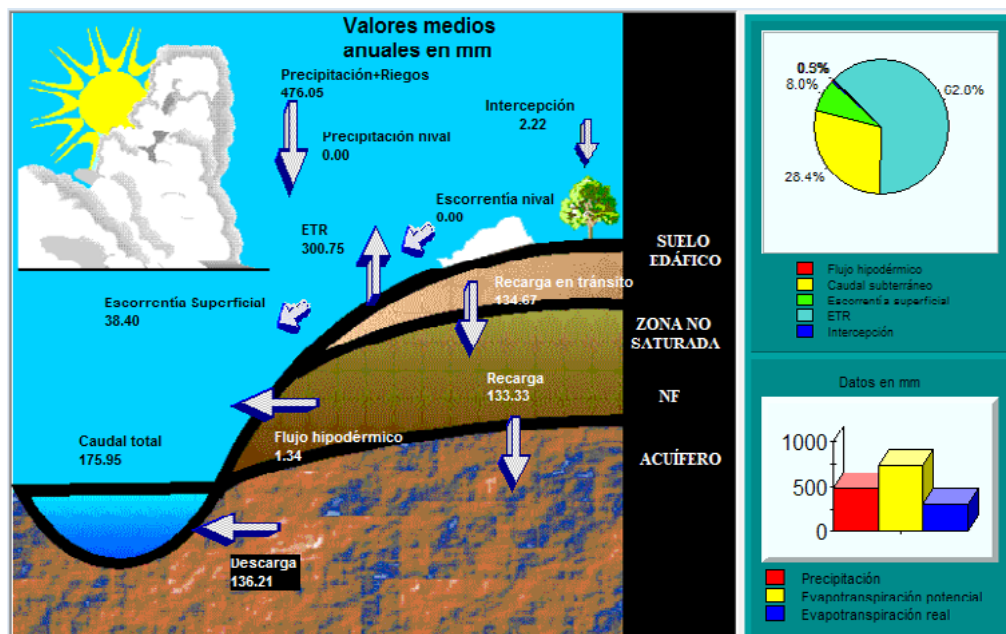
Fig. 14: Relación aguas superficiales-aguas subterráneas en verano.



Modelo de simulación hidrológica establecido con VISUAL BALAN

El movimiento o flujo de agua entre las tres componentes del VISUAL BALAN se resume en la Figura 15. La precipitación, única fuente de recarga del sistema, una vez descontada la interceptación, se distribuye entre escorrentía superficial e infiltración. De esta última, una parte vuelve a la atmósfera por evapotranspiración, otra parte se utiliza para aumentar la reserva de agua en el suelo y el resto constituye recarga en tránsito. La recarga en tránsito es la entrada de agua a la zona no saturada, es decir, en los materiales cuaternarios. Dentro de esta zona el agua puede fluir lateralmente a las lagunas en forma de flujo hipodérmico o bien percolar verticalmente hacia el acuífero. Esta percolación es por tanto la recarga al acuífero. La descarga subterránea es la salida natural del acuífero hacia los cauces y las masas de agua superficial.

Fig. 15: Resultados del balance VISUAL BALAN



Durante el período simulado para la calibración del modelo, la lluvia registrada fue de 476 mm, siendo este el total de entradas en el modelo. La intercepción supone únicamente un 0.5% de la precipitación, siendo un dato casi despreciable en el balance. La evapotranspiración potencial calculada fue de 760 mm, mientras que la evapotranspiración real fue de 300.75mm, un 63.2% de la precipitación, siendo el factor de mayor pérdida de agua en el sistema. El 36.3% restante se infiltra en el suelo recargando las láminas superficiales o el flujo subterráneo.

En cuanto al balance en los cuencos lagunares, del total de lluvia registrada, 80.5mm recargan el cuenco lagunar por precipitación directa. El resto se divide en:

- escorrentía superficial generada que llega a las lagunas a través de la superficie
- suponemos que el total va a las lagunas al considerarse una cuenca endorreica- contribuyendo con 38.4mm;
- flujo hipodérmico, con una aportación de 1.34mm;
- y flujo subterráneo, que se dirige hacia los cauces y las masas superficiales; tras la aplicación del programa de cálculo resultan 136.24mm para este ítem.

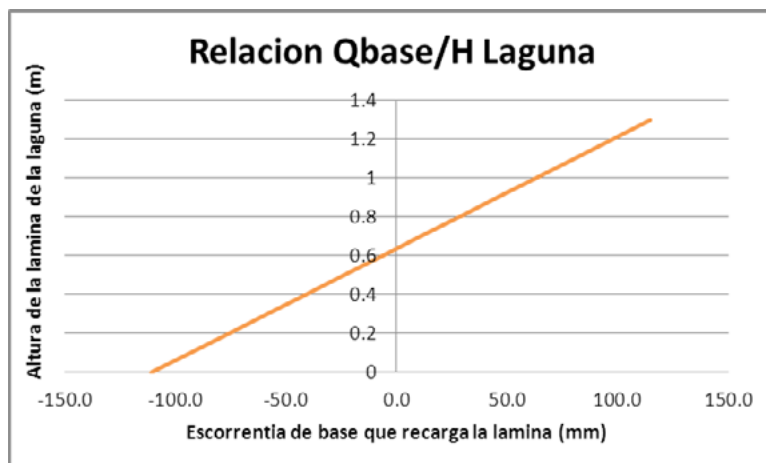
Se ha realizado una estimación de la parte correspondiente a cada destino. Para este cálculo se determina que el volumen almacenado en la laguna anualmente corresponderá a la diferencia entre las entradas -precipitación directa, caudal del flujo hipodérmico, escorrentía superficial y escorrentía subterránea-, y las salidas -evaporación sobre la lámina-. Los datos fueron extraídos de los resultados del modelo, a excepción de la evaporación, cuyos valores se obtuvieron de la estación SAIH situada en el Embalse de Puebla de Beleña, estimándose un valor anual de 40 mm, es decir, pérdidas de 0.021hm³.

$$V_{lag} = PPTd + Q_h + Q_{sup} - EV + Q_{sub}$$

$$V_{lag} = 0.24 + 0.004 + 0.11 - 0.021 + Q_{base} \text{ (hm}^3\text{)}$$

Si determinamos el volumen de agua en la laguna como la superficie ocupada por ambas (0.52 km²) multiplicada por la altura media de la lámina, podremos calcular la relación entre esta y la escorrentía de base dirigida a las lagunas. En la figura 16 se observa que hasta que la lámina de agua no alcanza los 0.64m en la laguna, el acuífero terciario no comienza a aportar agua a las mismas, es decir, hasta ese momento el agua contenida en las cuencas lagunares proviene del aporte superficial y su mantenimiento se debe al soporte generado por la escasa permeabilidad del substrato infrayacente a las arenas y gravas cuaternarias. A partir de ese momento, en que la precipitación ha sido suficiente para inundar en 64cm las lagunas, el nivel del acuífero se sitúa tan próximo al suelo que inicia el aporte hacia los cuencos.

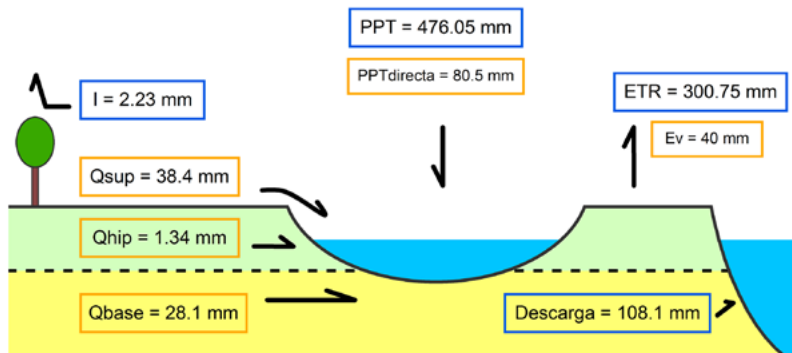
Fig. 16: Relación entre la escorrentía de base y la altura de la lámina de agua en las lagunas.



Puesto que la profundidad máxima de las lagunas es 0.80 metros, se estiman los valores medios en 0.70 metros, arrojando un escorrentía de base de 0.084 hm³ (28 mm).

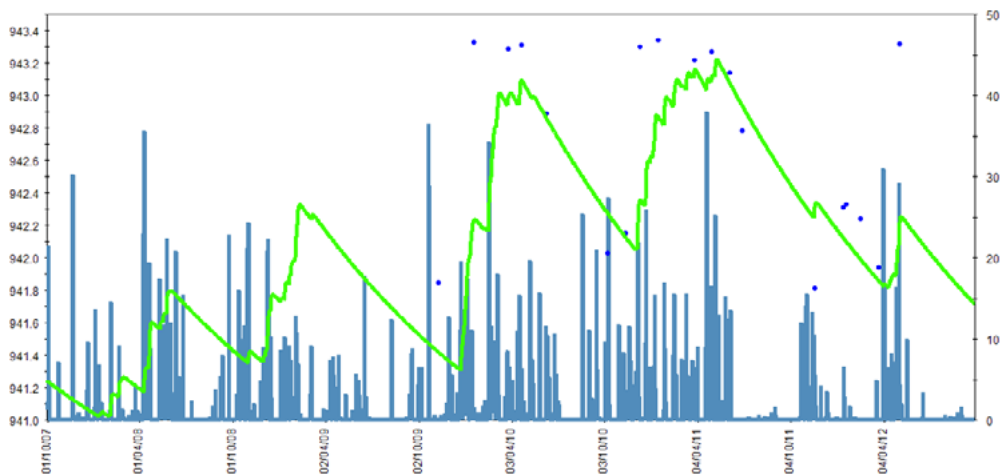
En resumen, de los valores de entrada a la laguna un 54.2% de entrada corresponde a la precipitación directa; un 25.8% es escorrentía superficial; un 1% proviene del flujo hipodérmico; y un 19% viene de escorrentía de base. A lo largo de un año, las salidas corresponden en su totalidad a la evaporación (Figura 17).

Fig. 17: Esquema de entradas y salidas del modelo



La comparación de los niveles de los niveles estimados y observados, para los niveles de la lámina de agua en el pozo correspondiente al acuífero terciario, se muestran en la figura 18. Como puede observarse el modelo subestima levemente, en unos 20cm, la altura de la lámina de agua en el pozo, pero la respuesta del nivel del agua subterránea se adecua a las precipitaciones.

Fig. 18: Niveles medidos y calculados



Si comparamos los datos estimados por el modelo matemático mediante VISUAL BALANCE y el modelo conceptual de referencia observamos valores porcentuales muy semejantes, como muestra la Tabla 4.

Caracterización físico-química y microbiológica de las aguas

Perfil físico-químico

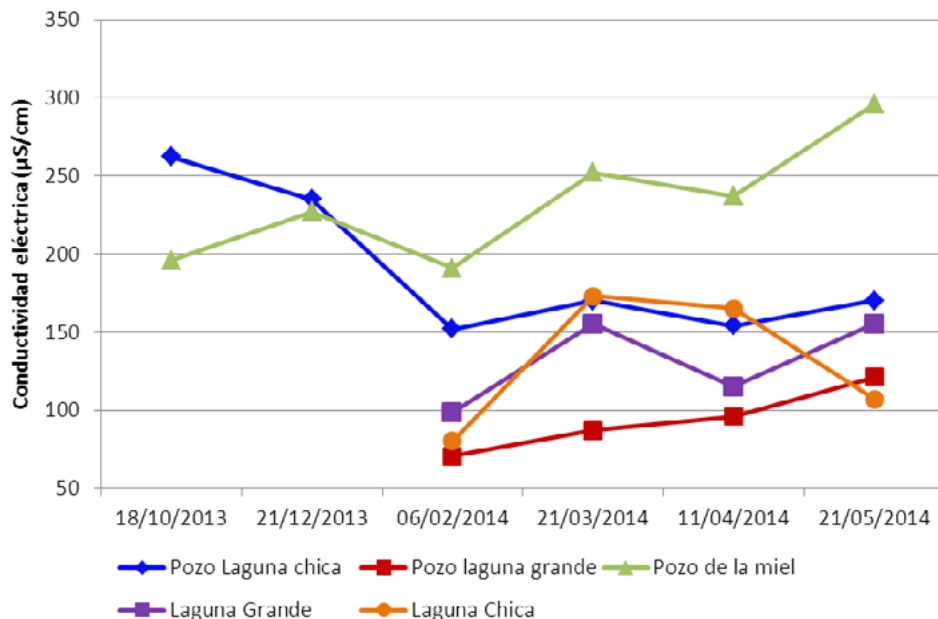
En la figura 19 se muestran los valores de conductividad eléctrica de las muestras de agua de las lagunas y de los pozos, indicadores de su grado de mineralización. Desde la primera campaña de muestreo, en octubre hasta febrero, la conductividad

eléctrica del agua en los pozos de la Laguna Chica y de la Laguna Grande descendiendo; sin embargo, a partir de esta fecha el valor la conductividad aumenta en todas las muestras excepto en la última muestra recogida en la Laguna Chica, donde disminuye. Como se puede ver en la figura 19, el denominado "Pozo de la Miel" presenta mayor mineralización que el agua de las lagunas y que la de los otros pozos; se trata de un pozo que se encuentra más alejado de las lagunas que los otros dos muestreados.

Tabla 4: Resultados comparados modelo conceptual vs VISUAL BALAN

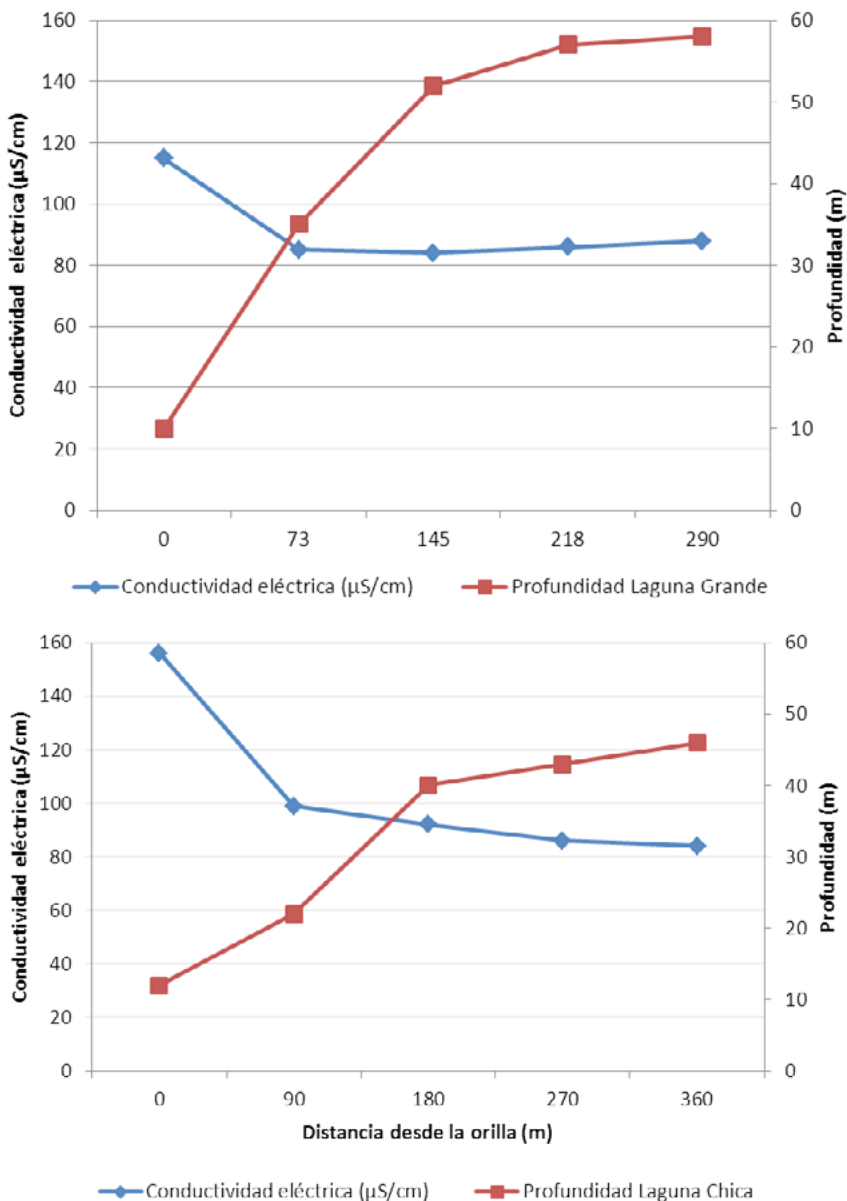
		MODELO CONCEPTUAL (mm)	%	VISUAL BALAN (mm)	% respecto al total de la cuenca
Precipitación		706.49	100	476.05	100
De los cuales: Precipitación directa				80.5	(17)
Intercepción		0	0	2.22	0.5
Evapotranspiración		473	66	300.75	63.2
Escurrentía superficial		64.44	9	38.4	8.07
Flujo hipodérmico		169	24	1.34	0.9
Escurrentía subterránea	Hacia los cauces			108.11	22
	Hacia las lagunas			28.1	5.9

Fig. 19: Conductividad eléctrica en las muestras de agua.



En abril se midió la profundidad de la masa de agua de las lagunas en 5 puntos diferentes desde la orilla hasta el centro de cada una. En estos mismos puntos se tomó una muestra de agua y se midió la conductividad eléctrica obteniendo los valores que se muestran en la figura 20.

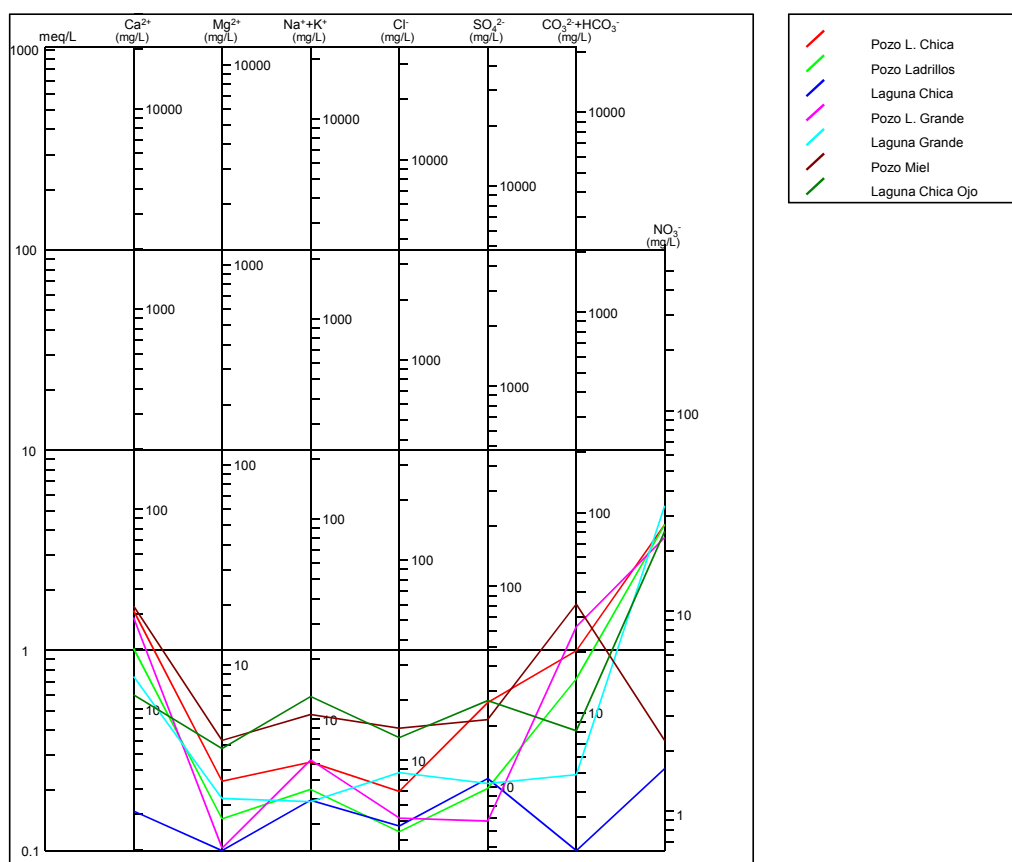
Fig. 20: Profundidad de la masa de agua y conductividad eléctrica: 20a) Laguna Grande. 20b): Laguna Chica.



Se ha observado una aparente relación entre conductividad eléctrica y espesor de la lámina de agua, disminuyendo a medida que aumenta esta. Ello podría deberse más a la distancia al borde del punto de toma de muestra que a la propia profundidad a la que se toma la misma. Este efecto de borde podría relacionarse con algunos factores ambientales externos a la lámina de agua, como puede ser la proximidad de los caminos que rodean a las lagunas y el paso de vehículos, animales y personas. En la Laguna Chica la conductividad eléctrica del agua disminuye hasta el centro de la laguna a medida que el espesor aumenta, aunque de forma más notable cerca de la orilla y menos significativamente a medida que nos adentramos en ella. En cambio, en la Laguna Grande la conductividad eléctrica del agua se hace prácticamente constante cerca de la orilla de la laguna, siendo además la variación de espesor muy pequeña.

En otros trabajos se han estudiado las características físico-químicas del agua de las lagunas y de los pozos. En mayo de 2012 se realizó un análisis físico-químico del agua de los diferentes pozos y de las lagunas. Los resultados se representan en el diagrama de Schoeller que se muestra en la figura 21.

Fig. 21: Diagrama de Schoeller de las muestras de agua (23/05/2012). (Navarro, 2012).



En este diagrama de Schoeller se representan los valores de concentración, expresados en mg/l, de diferentes cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , N^+ y K^+) y aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , y NO_3^-). En todas las muestras existe mayor contenido de calcio que de magnesio, siendo la Laguna Chica la que presenta menores concentraciones de ambos cationes y por lo tanto menor dureza, aunque ambas son aguas blandas. De forma general, las muestras presentan menores concentraciones de sodio (Na^+) –normalmente asociado a Cl^- – que de calcio. En cuanto a los aniones, en las muestras de agua procedentes de los pozos predominan carbonatos y bicarbonatos sobre sulfatos y cloruros, siendo aguas de composición iónica bicarbonatada cálcica. El “Pozo de la Miel” tiene mayores concentraciones iónicas que el resto, como ya apuntaban los valores de conductividad. Por último, la concentración de nitratos es menor en el “Pozo de la Miel” y en la Laguna Chica que en el resto de muestras.

Aproximación al estado microbiológico

Siguiendo el procedimiento descrito en la metodología, se ha procedido al recuento de colonias en las distintas placas inoculadas, y se ha calculado el número de microorganismos existentes, aplicando la fórmula:

$$N = C \times 1/D \times 1/i$$

Siendo N el número de microorganismos, C el número de colonias, D la dilución y e i la cantidad inoculada (0.2ml).

El número de microorganismos se expresa por 1 mililitro, excepto en los indicadores de contaminación fecal, que se expresan por 100 mililitros de agua. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Número de microorganismos recontados en las muestras de agua de las Lagunas de Beleña

	Laguna Grande	Laguna Chica
Coliformes totales	92750/100ml	22500/100ml
Coliformes fecales	220000/100ml	500/100ml
Enterococos	ND	ND
Aerobios mesófilos viables 37	900/1ml	648/1ml
Aerobios mesófilos viables 22	1245/1ml	7700/1ml
Oligotrofos	13225/1ml	19600/1ml
Hongos y Levaduras	50/1ml	30
Pseudomonas 37	ND	338/1ml
Pseudomonas 22	15/1ml	575/1ml

*No detectado

A la vista de estos resultados, aparentemente, la Laguna Grande presenta mayores indicios de contaminación fecal que la Laguna Chica, principalmente debida a bacterias coliformes, no habiéndose detectado enterococos. La Laguna Chica contiene mayor densidad de microorganismos heterótrofos viables (de acuerdo con los

datos que aparecen en la tabla 5) que crecen a bajas temperaturas (22°C) en relación a los que crecen a temperaturas más elevadas (37°C). También en la Laguna Chica se ha detectado mayor densidad de microorganismos psicrotolerantes (organismos que crecen a temperaturas más bajas) respecto a la Laguna Grande. Este hecho podría sugerir que entre los microorganismos encontrados en la Laguna Chica predominan microorganismos autóctonos adaptados a ese ambiente, mientras que en la Laguna Grande hay, además, otros microorganismos que acompañan a la materia fecal. Cabría esperar que la contaminación fecal en las lagunas pudiera estar relacionada con la fauna acuática que albergan.

6. CONCLUSIONES

Las Lagunas de Puebla de Beleña se asientan sobre una altiplanicie que puede concebirse como una estructura geohidrológica, estando esta influenciada por factores diversos como la naturaleza de los materiales, la morfología y la climatología y cuyas interacciones se ponen de manifiesto en el régimen de las aguas, tanto subterráneas como superficiales.

- El altiplano sobre el que se asientan las lagunas se desarrolla sobre una terraza alta del río Jarama, constituyendo un acuífero aluvial colgado respecto del nivel piezométrico regional; esta descansa sobre un substrato limo-arcillo-arenoso de reducida permeabilidad. La escasa potencia de este aluvial, junto con su elevada permeabilidad, da pie a una rápida respuesta del nivel piezométrico colgado frente a variaciones de las condiciones ambientales (episodios de precipitaciones o de elevada evaporación).
- La elevada permeabilidad del terreno y el escaso relieve del mismo favorecen los flujos verticales frente al escurrimiento horizontal, presentando la escorrentía superficial generada valores porcentuales bajos (11%) con respecto al total de precipitaciones, siendo esta el parámetro menos influyente en la variación de la lámina de agua en las lagunas.
- La estacionalidad de las lagunas está relacionada con las condiciones climáticas y la disposición del nivel freático del acuífero aluvial. Existe un gradiente hidráulico entre las lagunas y el substrato, por el cual se establecen flujos desde estas a los materiales del aluvial y viceversa, siendo generalmente el sentido de dicho flujo desde el acuífero hacia las lagunas al comienzo del hidroperiodo (cuando las precipitaciones hacen ascender la línea de saturación a cotas por encima de las de las lagunas) y desde las lagunas hacia el substrato cuando se produce el descenso del nivel de las aguas subterráneas en el acuífero.
- La composición iónica de las muestras de agua es bicarbonatada cálcica en todos los casos, permaneciendo la relación catiónica casi constante, frente a las variaciones en la relación de aniones. Los análisis químicos de las aguas permiten diferenciar claramente las aguas del denominado "Pozo de Matarrubia" de las del resto de los pozos, por su mayor grado de mineralización.
- Las aguas de las lagunas presentan muy baja mineralización, pudiendo caracterizarse como hiposalinas. Se ha comprobado cierto grado de contaminación por compuestos nitrogenados, tanto en la Laguna Grande como en el pozo de observación

más próximo a esta, pudiendo ser debido a aportes procedentes de la actividad agrícola.

- Se ha observado un efecto “de borde” –relacionado con factores ambientales externos– en el valor de la conductividad eléctrica del agua de las lagunas, siendo esta menor en el centro de las mismas.
- Aparentemente, la Laguna Grande tiene una mayor presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal –coliformes– que la Laguna Chica. En ambas lagunas existe una mayor densidad de microorganismos heterótrofos viables que crecen a bajas temperaturas (22°C) en comparación con los que crecen a temperaturas más elevadas (37°C).

REFERENCIAS CONSULTADAS

- BABINGER, F. (2002). *La creciente importancia medioambiental de los humedales a modo de revisión bibliográfica*. Observatorio Medioambiental. Vol. 5, 333-347.
- BENAVENTE, J. y RODRÍGUEZ, M. (1997). *Análisis cuantitativo de los flujos subterráneos en Las Lagunas de Campillos (Málaga)*. *Limnética*, 13, 15-23.
- BÉCARES, E., CONTY, A., RODRÍGUEZ-VILLAFANE, R. y BLANCO, S. (2004). *Funcionamiento de los lagos someros mediterráneos*. *Ecosistemas*, 13, 2-12.
- BOE. núm. 14. Resolución de 18 de diciembre de 2002, de la Dirección General de Conservación de la Naturaleza, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros de 15 de noviembre de 2002, por el que se autoriza la inclusión en la lista del Convenio de Ramsar de 2 de febrero de 1971, relativo a humedales de importancia internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, de las siguientes zonas húmedas españolas: Lago de Banyoles, Laguna de El Hito, Lagunas de Puebla de Beleña y Complejo Lagunar de La Albuera.
- BUSTAMANTE, J., DÍAZ-DELGADO, R. y ARAGONÉS, D. (2005). “Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección”. *Revista de Teledetección*, 24, 107-111.
- CALONGE, A. y RODRIGUEZ, M. (2008). *Geología de Guadalajara*. Ed. Universidad de Alcalá.
- CAPOTE, R. y CARRO, S. (1968). “Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo”. *Estudios Geológicos*, XXIV, 91-95.
- CASTAÑEDA, C. y DUCROT, D. (2009). “Land cover mapping of wetland areas in an agricultural landscape using SAR and Landsat imagery”. *Journal of Environmental management*, 90, 2270-2277.
- CHUVIECO SALINERO, E. (2006). *Teledetección Ambiental (2ª Edición)*. Ed. Ariel, S.A.
- CIRUJANO, S. (1980). *Las lagunas manchegas y su vegetación I*. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 37(1), 155-192.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO (2005). *Plan Especial de Sequias de la Confederación Hidrográfica del Tajo*.
- DANIELE, L., PULIDO BOSCH, A., VALLEJOS, A., MURRAY, K. y MOLINA L. (2007). *Estudio de la evolución de un humedal en una región semiárida mediante SIG. El caso de la Cañada de las Norias (Campo de Dalías, SE España)*. *Geogaceta*, 41, 63-66.

- DE LA FUENTE, V. (1986). "Aportaciones al conocimiento de la flora del Noroeste de la provincia de Guadalajara". *Studia Botánica*, 5, 135-140.
- DOCM. Núm. 114. Decreto 186/2001, de 02 octubre de 2001 por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Lagunas de Puebla de Beleña y se declara la Reserva Natural de las Lagunas de Puebla de Beleña (Guadalajara).
- DOCM. Núm. 141. Decreto 82/2005, de 12 de julio de 2005, por el que se designan 36 Zonas de Especial Protección Para las Aves, y se declaran zonas sensibles.
- DUKATZ, F., FERRATI, R. y CANZIANI, G. (2005). "Clasificación de lagos someros pampeanos mediante imágenes Landsat TM". *Biología Acuática*, 22, 95-101.
- DURÁN VALSERO, J.J., GARCÍA DE DOMINGO, A. y ROBLEDO ADILLA, P. (2009). "Propuesta de clasificación genético-geológica de humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el convenio de Ramsar". *Boletín Geológico y Minero*, 120, 335-346.
- GONZALEZ BERNALDEZ, F., REY, J.M. y RUIZ, J.P. (1988). *Terminología vernácula y percepción ambiental de los humedales*. Homenaje a Pedro Montserrat, 579-582. Ed. Instituto de Estudios Altoaragoneses (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Instituto Pirenaico de Ecología.
- LÓPEZ VERA, E. (1977). "Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la fosa de Madrid". *Tecniterrae*. Núm. 18. 64-69.
- MMA, Dirección General de Conservación de la Naturaleza (1999). *Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales, en el marco de los ecosistemas acuáticos de que dependen*. Madrid.
- MOPT, Dirección General de Obras Hidráulicas (1991). *Estudio de las zonas húmedas de la España peninsular: inventario y tipificación*. Madrid.
- MUÑOZ MUÑOZ, J., ARCHILLA ALDEANUEVA, R. y REY ARNAIZ, J.M. (1992). "El clima en la provincia de Guadalajara". *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 12, 11-60.
- PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y GALLARDO, J. (1987). "La raña al sur de Somosierra y Sierra de Ayllón: un piedemonte escalonado del Villafranquiense medio". *Geogaceta*, 2, 29-32.
- PIVIDAL ESCRICHE, A.J. (1999). *Condicionantes geomorfológicos e hidrogeológicos para el emplazamiento de vertederos de residuos sólidos urbanos a escala regional*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- PORTERO, J.M., DÍAZ MOLINA, M., GONZÁLEZ LODEIRO, F., PÉREZ GONZÁLES, A., GALLARDO, J., AGUILAR, M.J. y LEAL, M.C. (1990). *Mapa geológico de España. Hoja Valdepeñas de la Sierra (485)*. Instituto Geológico y Minero de España. Segunda serie. Primera edición.
- REBELO, L.-M., FINLAYSON, C.M. y NAGABHATLA, N. (2009). "Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis". *Journal of Environmental management*, Núm. 90. 2144-2153.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1982). *Mapa de las series de vegetación de Madrid*. Servicio Forestal, del Medio Ambiente y Contra Incendios. Diputación Provincial de Madrid.
- SASTRE, A. (1978). *Hidrogeología regional de la Cuenca Terciaria del Alberche*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- VIÑALS, M.J. (coord.) (2002). *El patrimonio cultural de los humedales*. Ministerio de Medio Ambiente, 272 pp.
- VELAYOS, M., CIRUJANO, S. y MARQUINA, A. (1984). "Aspectos de la vegetación acuática de la provincia de Guadalajara". *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 41(1), 175-18.

- VELASCO, J.L., SORIANO, O., FERNÁNDEZ, J. y RUBIO, A. (2002). "Características físico-químicas de diferentes masas de agua: I Cuenca del Tajo (Guadalajara, España)". *Ecología*, 16, 27-35.
- VILLARROYA, F. (1977). *Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y Cuaternario de la cuenca del río Henares*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- VILLARROYA, F. y REBOLLO, L.F. (1976). *Contribución al conocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Henares. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. Vol. I, 421-436. Ed. A.G.E., Valencia.

Consultas electrónicas

- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. *Inventario de puntos de agua de Guadalajara*. Consultado el 25/11/2009 en: http://www.chtajo.es/redes/cantidad/puntos_agua.htm
- INFAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE ESPAÑA (IDEE). Consultado el 31/12/2009 en: <http://ide.jccm.es/descargapnoa/>
- JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA-LA MANCHA, 2002. *Plan de Conservación de humedales de Castilla-La Mancha*. Consultado el 02/03/2010 en: <http://pagina.jccm.es/medioambiente/publicaciones/revista/macm9.pdf>
- JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA-LA MANCHA. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. *Tríptico de las Lagunas de Beleña*. Consultado el 02/03/2010 en: <http://pagina.jccm.es/maydr/inap/forms2/inapf106.php?IDGENER=36>
- RAMSAR. *Ficha Informativa de los humedales RAMSAR*. Consultado el 20/11/2009 en: <http://www.ramsar.org>
- RAMSAR. *The List of Wetlands of International Importance*. Consultado el 15/03/2010 en: <http://www.ramsar.org/doc/sitelist.doc>
- USGS GLOBAL VISUALIZATION VIEWER (GLOVIS). Consultado el 13/01/2010 en: <http://glovis.usgs.gov/>

Vicisitudes de los humedales en La Mancha

El caso particular de las Salinas del Pinilla

José Ramón Aragón Cavaller¹

Resumen: La Mancha es una llanura esteparia, de las más grandes del continente europeo, a setecientos metros sobre el nivel del mar, en una zona semiárida en la que la pluviometría media está en los cuatrocientos milímetros. En su superficie hay un número importante de zonas húmedas que han sufrido diversas vicisitudes, resultando en conjunto un elevado grado de degradación. Las causantes de la degradación son las presiones de todo tipo sobre las aguas del territorio, el estado de las zonas húmedas acusa el impacto. Recientemente se ha aprobado el Plan de la Demarcación del Guadiana, a cuya cuenca hidrográfica pertenece la parte occidental de La Mancha, que contiene medidas para alcanzar en 2015 el buen estado ecológico de sus zonas húmedas. Entre las zonas húmedas, las salinas constituyen un grupo de máximo interés. De entre estas, las Salinas del Pinilla tienen un mayor riesgo de no alcanzar su buen estado.

Palabras clave: Impactos, La Mancha, Presiones, Salinas del Pinilla, Zonas Húmedas.

Abstract: La Mancha is a steppe of the largest in the European continent, seven hundred meters above sea level, on a semi-arid area where the average rainfall in the four hundred millimeters. On its surface there is a significant number of wetlands that have suffered various vicissitudes, resulting in a high overall degree of degradation. The causes of degradation are the pressures of all kinds on the waters of the territory, the state of wetlands feels the impact. Recently approved Demarcation Plan Guadiana river basin which belongs to the West of La Mancha, which contains measures to achieve by 2015 a good ecological status of the wetlands. Among the wetlands, salt marshes are a group of great interest. Of these the Salinas del Pinilla has a greater risk of not achieving good status.

Keywords: Impacts, La Mancha, Pressures, Salinas del Pinilla, Wetlands.

¹ aragonmartin@telefonica.net

INTRODUCCIÓN

La Mancha es una comarca del centro de la Península Ibérica, sobre cuyas dimensiones y límites no existe acuerdo entre sus pobladores y estudiosos.

Quizás la culpa la tuvo don Miguel de Cervantes cuando con inusitado acierto indefinió un lugar de la región, cuya localización se disputan diversas localidades, incluso algunas muy alejadas del indefinido perímetro de La Mancha. Para complicar más las cosas aparecen derivaciones de su denominación, Mancha Alta y Mancha Baja, Mancha Toledana, Mancha Conquense y Mancha de Montearagón. Incluso hubo una provincia hasta el siglo XIX denominada La Mancha.

Es el caso, que la comarca es protagonista con motivo del interés de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para que se definiera de una vez un perímetro para la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda (RBMH) declarada en 1980 con un contorno ameboide. Se declaró con altas exigencias para que fuera modelo de la compatibilidad y sostenibilidad de su actividad económica y social y de las zonas húmedas de su ámbito territorial, en un momento en el que afloraban tensiones por el insostenible uso del agua, después de miles de años de cohabitación entre el medio natural y el desarrollo.

Y es que La Mancha, con independencia de sus límites, es una región semiárida que contiene la más extraordinaria diversidad de tipos de humedales interiores de la península. Los hay de aguas dulces, de aguas saladas, y de aguas dulces y saladas, grandes y pequeños, de origen fluvial, y endorréicos, hiporréicos, arréicos y exorréicos; de las más diversas formas y contornos. La superficie del conjunto suma, sumaba, decenas de miles de hectáreas hace solo unas pocas décadas, con extensas zonas palustres, formaciones fluvio-lacustres y fluvio-palustres, alimentadas por escorrentía superficial, subterránea y mixta, y con humedales artificiales también.

La Mancha es cabecera de dos cuencas hidrográficas en una zona denominada corredor manchego, la del río Lezuza, afluente del río Júcar, y la del río Guadiana; a la parte de la cuenca del Júcar se la denomina Mancha Oriental, y a la del Guadiana, más extensa que la anterior, Mancha Occidental, esta es en la que se centra el presente estudio.

Algunos humedales de comarcas colindantes con la de La Mancha Occidental llaman a su puerta para ingresar en el controvertido colectivo de humedales de la RBMH, y es que las comarcas geológicas, las naturales, las agrarias, las industriales, las mineras, las culturales y las administrativas no son siempre coincidentes.

Cada humedal tiene sus vicisitudes² históricas derivadas de su relación con su entorno social, a veces próximo, a veces muy alejado, en la comarca de La Mancha.

Cuatro décadas de estudios de la Mancha Occidental permiten, a los estudiosos de los humedales y a los preocupados por su conservación, contar algunos de sus avatares³, aunque nadie podrá igualar el fantástico relato de aventuras del único humedal

² Diccionario Real Academia de la Lengua Española (DRAE): *vicisitud* (Del lat. *vicissitūdo*). 1. f. Orden sucesivo o alternativo de algo. 2. f. Inconstancia o alternativa de sucesos prósperos y adversos.

³ DRAA Avatares. (del fr. *avatar*, y este del sánscrito *avatâr* descenso o encarnación de un dios) 1 m Fase, cambio, vicisitud, transformación.

subterráneo incluido en la comarca, de nombre Montesinos (Cueva de), escrito hace más de cuatro siglos por el citado Cervantes, explicando el “verdadero” origen del río que atraviesa, con padecimientos, la comarca de la Mancha Occidental.

Algunas zonas húmedas fueron protegidas por su paisaje o por su riqueza faunística objeto de la caza, primero las Lagunas de Ruidera en 1933 como Sitio Natural de Interés Nacional, y las Tablas de Daimiel en 1966 como Reserva de caza. Con el tiempo, desde que en nuestro país se habla del medio ambiente –cuando se quieren referir en realidad al medio natural– se han comenzado a proteger en La Mancha Occidental con nuevas figuras estos y otros espacios naturales: Parque Nacional, Parque Natural, Reserva Natural, Monumento Natural, Microrreserva y otras, algunos de ellos para proteger a las Aves, con la denominación de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), otros con la denominación de Zonas de Especial Conservación (ZEC) tras ser seleccionados como Lugares de Interés Comunitario (LIC), formando las ZEPA y las ZEC parte de una red europea denominada Red Natura 2000.

Las zonas húmedas españolas, por tanto los humedales manchegos, quedaron todas protegidas, a partir del Ingreso de nuestro país en la Convención de Ramsar en el mismo año de 1980, año en que junto con Doñana, las Tablas de Daimiel se incorporan a la lista de Humedales de Importancia Internacional, conocida como Lista de Ramsar.

ANTECEDENTES

Estudio del Patrimonio Etnológico de las Salinas del Pinilla

El estudio “El Patrimonio Etnológico en las Salinas del Pinilla” (Carmona D., 2010) recuerda que la sal es uno de los elementos minerales más estudiado, que posee profunda significación antropológica y que los lugares en que se produce han sido incorporados a los estudios sobre “el oro blanco”, y refiere que diversos trabajos han puesto en valor a algunas de las salinas y minas de sal, ya que algunas incluso han sido reconocidas como Bienes de Interés Cultural (BIC) de profunda significación antropológica. El objetivo de este trabajo fue el de dar a conocer la explotación salinera más importante de Albacete, y documentar y registrar el patrimonio de las Salinas de Pinilla (Albacete) tras el cierre de la explotación en 1997, al que considera *yacimiento arqueológico de época contemporánea*.

Manifiesta que está muy extendida la creencia de que las Salinas del Pinilla son de una gran antigüedad, nada menos que de la época romana. Romanos y moros extraían una sal inagotable que se exportaba a toda España. El estudio describe separadamente el conjunto de los elementos de la producción y almacenamiento de la sal y las viviendas del conjunto de las salinas, la evolución histórica de la titularidad y explotación. También sostiene la relevancia histórica y cultural de las salinas de Pinilla a escala regional e incluso nacional al ser la sal imprescindible para la ganadería.

Refiere que es en el Ordenamiento de 1338 cuando se mencionan por primera vez las Salinas de Alcaraz entre las principales del reino de Alfonso XI, que reafirma la posesión de las salinas por parte de la Corona. En el siglo XV, con los Reyes Católicos, aparecen las salinas como “de Pinilla” (Salero del Pinilla) en el extremo oriental de La Mancha, siendo arrendadas como otras de Castilla la Nueva para su explotación,

y la sal se convierte en un producto estancado⁴. Esta operación la ordena Felipe II mediante Real Cédula de agosto de 1564. La administración de las salinas continuó en gran medida en manos de sus antiguos propietarios, hasta que en 1753 el ministro plenipotenciario de Fernando VI, el marqués de la Ensenada, completaría el proceso de poner todas las salinas bajo la directa administración de La Corona.

Las salinas de Pinilla se vieron aquejadas por males seculares, derivados principalmente a la escasa producción y sus elevados costos en comparación con las de las salinas costeras (Valencia y Murcia), lo que se tradujo en un déficit de sal a nivel comarcal, convirtiendo a la sal en el mayor objeto de contrabando, por encima del tabaco. El Coto de Las Salinas del Pinilla pasó a manos privadas con motivo de la desamortización de Mendizábal en pública subasta el año 1871. No obstante, se mantuvieron en producción hasta al tercio inicial del siglo XX, en el que las salinas de Pinilla se convierten en las mayores productoras de Albacete, a pesar de su primer cierre en 1907. Concluye el estudio que hace casi una década (1997) que se paralizó la cosecha de sal.

La Mancha Húmeda

En 1980 muchos humedales de la Mancha estaban gravemente deteriorados, otros han continuado su deterioro, y otros se han deteriorado posteriormente, aunque existe el compromiso de su restauración, que no precisa más esfuerzos que los de eliminar los impactos en ellos, y las presiones que los han originado. Uno de los más singulares, las Tablas de Daimiel figura en la Lista de Montreux, por estar en riesgo de no consolidar su buen estado ecológico. La naturaleza de los humedales se recupera con el tiempo gracias a su elevada resiliencia. Conviene recordar que la protección de las zonas húmedas lo es con independencia de su titularidad, por tanto afectan tanto a propiedades públicas como a privadas, naturales o artificiales.

El conjunto de este tipo de espacios naturales contiene un alto grado de biodiversidad, que constituye un preciado laboratorio para la ciencia, a la par que proporciona importantes servicios a la sociedad.

En momentos de crisis (sequías prolongadas), hay que aplicar medidas preventivas y cautelares, ya que suelen aparecer nuevas presiones sobre las zonas húmedas, también aparecen oportunidades para frenar los deterioros y su restauración.

De acuerdo con la categorización que establece la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de Aguas (DMA), las masas de aguas superficiales (MASp) son las unidades mínimas de gestión de las aguas y sus ecosistemas asociados.

Algunos humedales de La Mancha, y cuando no alcanzan las dimensiones requeridas, subconjuntos de ellos, constituyen masas de aguas superficiales de la categoría Lago, caracterizadas en diversos tipos, con independencia de los planes de ordenación de sus recursos naturales y de los de su uso y gestión, Su protección implica que los objetivos ecológicos propios son más rigurosos que los correspondientes a las

⁴ Estanco: El Estado asume el monopolio en la producción, comercio o venta de un determinado bien pudiendo otorgarlo a particulares a cambio de un ingreso al fisco (del tabaco, bebidas espirituosas, timbres, sellos, et.) revistiendo el carácter de servicio público con repercusión aduanera y tributaria

MASp del Plan de Gestión de la Demarcación, que son, como mínimo, los de alcanzar en 2015 su buen estado ecológico de forma permanente.

La historia de las vicisitudes de las zonas húmedas de La Mancha en los últimos cuarenta años, con ciclos húmedos y secos, y con niveles piezométricos elevados y muy deprimidos, tiene diversos orígenes y causas. Entre las vicisitudes figuran los conflictos entre la titularidad privada o pública de las zonas húmedas, su uso como vertederos, de sumideros de aguas contaminadas, los encauzamientos, justificados con nombres tan diversos como saneamiento o restauración, y las ocupaciones de sus riberas fluviales palustres o no, la alteración de su régimen y ciclo natural de las aguas por infraestructuras de derivación de aguas o transversales, su cultivo, incluso su transformación en regadío, y la desaparición de los caudales superficiales por la sobreexplotación de las aguas subterráneas de sus acuíferos relacionados. También se han alterado algunas zonas húmedas con la pretensión de mejorarlas, embelleciéndolas con áreas recreativas o instalaciones en su dominio natural. Otras presiones sobre zonas húmedas han sido su relleno, las alambradas y vías de comunicación, incluso autopistas y ferrocarriles de alta velocidad, que las cruzan. Pero también han tenido vicisitudes administrativas sobre sus usos y afecciones, y las más importantes, los estudios de las zonas húmedas y sus protecciones ambientales.

Las Zonas Húmedas de aguas salinas merecen especial atención, y entre ellas las hipersalinas, que tienen parte de su historia en el uso de la explotación de sus sales y de su vegetación halófila, entre otros fines para la fabricación de jabones. Estas lagunas naturales, hoy son objeto de atención por un proyecto LIFE⁵ para las lagunas salinas esteparias de la Mancha Occidental.

El presente trabajo se centra en una zona húmeda hipersalina artificial, a partir de un arroyo afluente del río Pinilla, que en su tramo final se denomina Guadiana Alto, alimentado por aguas de un manantial salino, que se ha explotado para la obtención de sal, en forma de salinas.

Las Salinas del Pinilla están en la parte de La Mancha que se conoce como Campo de Montiel, en los términos municipales de El Bonillo y Alcaraz, ambos pertenecientes a la antigua provincia de La Mancha, en la cuenca hidrográfica del río Guadiana, en un territorio que los romanos cuando colonizaron la península Ibérica denominaron *Caput Fluminae Anaë* abundante en manantiales, de los que solo el que nos ocupa es salino.

Existen documentos de la explotación de las salinas del Pinilla desde la Edad Media, aunque probablemente los romanos en el Siglo I ya las explotasen, pues uno de sus itinerarios por la Península Ibérica pasaba por sus cercanías.

LAS SALINAS DEL PINILLA EN EL CAMPO DE MONTIEL

Descripción del patrimonio desamortizado

Se añade al contenido del estudio de referencia la descripción del conjunto desamortizado.

⁵El **proyecto LIFE** ('vida' en inglés), es un instrumento de la Unión Europea para financiar proyectos de conservación medio ambientales y el desarrollo de la política y legislación comunitaria en materia medioambiental.

En el fondo del valle, en el centro del Coto y algo al Este, está situado El Sabinar que es lo que constituye Las Salinas.

La Salina denominada Pinilla enclavada en los términos municipales de Alcaraz y El Bonillo consta de 100 fanegas equivalente a setenta hectáreas, cinco áreas y sesenta y nueve centiáreas; se clasifican por los peritos en porciones: dieciocho fanegas para salinas y accesorios, tres de huerta que riega con el agua de la fuente que existe dentro del coto, con cinco chopos y cuatro mimbreras, treinta fanegas de prado, catorce fanegas de terrenos incultos y las treinta y cinco fanegas restantes de terreno inculto por comprender superficie de praderas y saladillas encharcas, río, malecón, canales de limpieza y servidumbres.

El Sabinar se compone del edificio-noria colocado en el centro de él, al cual esta unida y en comunicación otra casa pequeña con cocina y cuadra. Dentro de este edificio se halla un pozo, en el fondo del cual afloran tres veneros que constituyen el manantial de las salinas. El agua salitrosa que produce el manantial se extraía del pozo por medio de una noria y se conduce a ocho depósitos.

En la Salina se alcanzó la producción de hasta dos mil toneladas al año, y como dependencia de ella existían los edificios siguientes: una casa llamada Real, otra casa titulada de Administración, otra llamada del Comandante, una casa llamada Cuartel, un almacén de sales, un porchado llamado Botica, destinado para el almacén de efectos y útiles de la fábrica, un horno de pan cocer y una cuadra, otra casa que sirvió de retén para el resguardo, situada al Este del Almacén, y otra llamada del Noriero.

Marco Geológico

El Campo de Montiel se encuentra en la zona mas meridional de la cuenca alta del río Guadiana, constituye un páramo calcáreo de aproximadamente unos 2.500 km² de extensión situado entre el frente prebético (al sur) y la Llanura Manchega (al norte).

La información relativa al contexto geológico se ha extraído de distinta documentación, completando y contrastando la información con los mapas y memorias de la serie MAGNA, el mapa litoestratigráfico, documentos del Sistema de Información Documental del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), fichas de caracterización adicional y demás informes, documentos y publicaciones consultados.

La geología de la zona se define por un zócalo Hercínico metamórfico sobre el que se disponen de forma discordante depósitos Mesozoicos (triásicos y jurasicos),

El Triásico se sitúa discordante sobre los materiales paleozoicos, aflora ampliamente al sur y oeste del Campo de Montiel, así como en pequeños sectores en el interior del páramo, generalmente asociados a movimientos estructurales a favor de fracturas que levantan y hundén el zócalo. Se distinguen tres tramos diferenciados:

- El Jurásico se sitúa sobre los materiales anteriores (facies Keuper), la serie calcolomítica y margosa que forma el páramo del Campo de Montiel.
- El Terciario: aparece localmente, sobre los materiales carbonatados del páramo, se observan brechas y limos rojos formados por cantos del Lías con una matriz arcillosa roja que habitualmente se encuentran muy cementados.
- El Cuaternario aparece en distintos tipos de depósitos diferenciados en la zona (coluviones, conos de deyección, aluviales, arcillas de calcificación, etc.), destacan los depósitos travertínicos ligados a las lagunas de Ruidera y restos de antiguos travertinos.

Cuadro 1: Litologías del Campo de Montiel

Litologías	Funcionamiento	Permeabilidad
Materiales paleozoicos	Impermeable	Muy baja
Facies Keuper (Triasico Superior)	Impermeable	Muy baja
Carniolas (Lias Inferior)	Acuífero	Alta-Muy Alta
Margas-arcillas y dolomías (Lias Medio)	Acuitardo	Baja-Media
Calizas oolíticas (Lias Superior)	Acuífero	Media-Alta
Brechas calcáreas y limos rojos(Terciario)	Acuífero	Media-Alta
Barreras Travertínicas de Ruidera (Cuaternario)	Barreras entre lagunas	Baja

El acuífero del Campo de Montiel ha sido objeto en el pasado reciente de numerosos estudios en relación a su funcionamiento hidrológico e hidrogeológico. La fuerte explotación a que ha estado sometido debido a las extracciones de aguas para riego, ha incidido en el estado de los numerosos puntos de surgencia –fuentes y manantiales–, de manera que el caudal, y la propia existencia de dichos puntos se han visto comprometidos.

Las Salinas del Pinilla figuran en el Inventario de Lugares de interés Hidrogeológico de la cuenca del río Guadiana.

Marco geográfico-administrativo

El Campo de Montiel perteneció a la Provincia de La Mancha hasta el siglo XIX, en que se definieron las provincias, agrupándose las de Murcia y Albacete en la Región de Murcia. En 1978 Se aprueba la Constitución Española y se crean las comunidades autónomas a través de leyes orgánicas. Entre ellas la de Castilla-La Mancha que comprende las provincias de Albacete, Ciudad Real, Cuenca, Toledo y Guadalajara.

Las comarcas de La Mancha, Campo de Montiel y Sierra de Alcaraz están comprendidas en Castilla-La Mancha.

El Campo de Montiel se extiende por las provincias de Ciudad Real y de Albacete. Los Términos municipales de Viveros, El Bonillo y parte del de Alcaraz se extienden por el Campo de Montiel.

Las Salinas del Pinilla se ubican en los términos municipales de Alcaraz y El Bonillo, aunque en una época se administraban desde Viveros.

La gestión de la microrreserva de las Salinas del Pinilla corresponde a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, su titularidad es privada.

REFERENCIAS DE INTERÉS DE LAS SALINAS DEL PINILLA

Características del yacimiento de sal

Para el trámite de la concesión de explotación minera por particulares se elaboró el preceptivo informe técnico (Caride C., 1965) que describe lo esencial de la geología madre del yacimiento y el funcionamiento de las salinas.

Considera que toda la zona de explotación es de un radio de unos diez kilómetros alrededor del pozo, está en el Triásico, representado por los tramos Keuper, de los que *no aprecia más que una pequeña mancha al Este del kilómetro diez de la carretera*

que va de el Bonillo a La Pinilla, y otra, de regular extensión, dentro de la cual se encuentran balsas de evaporación de las salinas, formada por unas margas, preferentemente verdosas de aspecto plástico, salitrosas y muy ricas en yesos, y el Suprakeuper, zona en la que distingue dos clases diferentes de rocas: las carniolas propiamente dichas y las calizas grises, a veces magnesianas, generalmente compactas o marmóreas, señalando que estas dos rocas coexisten en la mayor parte de los lugares sin que pueda apreciarse una posición relativa determinada.

Respecto a la explotación de las salinas, señala que el agua salobre que produce la sal se extrae de un pozo de seis metros de profundidad, abierto en las margas del Keuper, de cuyo hastial Norte, y a cuatro metros de superficie, brota un venero de agua salada, procedente de un nivel superior, puesto que el agua sube por encima del punto de surgencia. Se incluye en el informe el resultado de un análisis de las aguas efectuado por la Sección de Espectroanálisis del Departamento de Química Analítica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas el 15 de enero 1965, que dio el resultado que se recoge en el Cuadro 2.

La analítica permite calificar el agua como marcadamente salina, muy rica en cloruro sódico, clorurada-sódica.

Cuadro 2: Analítica del manantial

SAL	PESO	Unidad
SO ₄ Ca	0.430	mg/l
(CO ₃ H)Ca	0.170	mg/l
Cl ₂ Ca	1.470	mg/l
Cl ₂ Mg	6.730	mg/l
ClNa	241.000	mg/l
ClK	9.300	mg/l
Total	259.100	mg/l

Concluye que la salinidad es adquirida por el agua al pasar por terrenos saliníferos, como son las capas margosas del Keuper, ricas también en yesos.

Fig. 1: Salinas del Pinilla, Pilar de las salinas, vegetación y eras



Fotos del autor de la comunicación. *Elaboración Propia.*

Flora y Vegetación

En la parte dedicada a los humedales salinos del estudio Flora y Vegetación de las lagunas y humedales de la Provincia de Albacete (Cirujano S., 1990), diferencia los humedales por su tipología y grado de salinidad en: praderas sumergidas en aguas de moderada salinidad, praderas sumergidas en las aguas hipersalinas, formaciones de macrófitos en aguas hipersalinas, formaciones helofíticas en las lagunas de aguas salinas, y contiene un apartado específico para las Salinas del Pinilla.

Destaca en el estudio la presencia en las Salinas del Pinilla de diversas especies vegetales de interés, algunas de las cuales figuran en listas de riesgo de desaparición.

Expone que el conjunto de zonas funcionales de las salinas abarca una extensión considerable cubriendo casi la totalidad del Keüper sobre el que se asientan, y que en las zonas por donde discurren las aguas en la extensa vaguada se localiza una vegetación ciertamente interesante de las especies la N° 12 y en la zona de tránsito la N° 13 que se relacionan en el Cuadro 3, las especies N° 26 y 27 surgen entre las praderas sumergidas, y en la vegetación helofítica (especie N° 34); surge la salicornia en rodales, colonizando los bordes cuando bajan los niveles de agua, que destacan entre las praderas de *Puccinellia*.

Cuadro 3: Flora y vegetación de interés en el entorno de las salinas del Pinilla

Nº	Nombre científico	Margen	Profundidad agua	
			← 3 cm	← 15 cm
12	<i>Lamprothamnium populosum</i>			X
13	<i>Riella helycophylla</i>		X	
26	<i>Ruppia drepanensis (Tineo)</i>			X
27	<i>Athenia orientalis (Tzvelev)</i>		X	X
34	<i>Scirpus maritimus</i>			X
49	<i>Puccinellia fasciculata (Torrey)</i>	X		
56	<i>Salicornia ramosissima</i>	X		

Incluye análisis de aguas de distintos humedales. El correspondiente a las Salinas de Pinilla, realizado en junio de 1988, se recoge en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Analítica humedal Salinas del Pinilla

	Meq/l	Mg/l
CONDUCTIVIDAD	43.000 μ S/cm	
RESIDUO SÓLIDO	50.1 g/l	
pH	9.0	
Cl	525.1	18.643
SO ₄	92.8	4.450
CO ₃	0.0	0.0
CO ₃ H	3.19	195
Na	504.7	13.450
K	23.07	900
Ca	22.4	448
Mg	12.9	157
Total		38.243

Protección ecológica de las Salinas

El Lugar de Interés Comunitario (LIC) Lagunas de Ruidera, fue propuesto en 1997 con el código ES4220010 para formar parte de la Red NATURA 2000. En el año 2000 fue ampliado considerablemente en superficie, con la codificación ES 421007, hasta juntarse con la Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA) del Campo de Montiel denominada Zona Esteparia de El Bonillo, incluyendo la subárea de la Microrreserva de las Salinas del Pinilla. En la ficha de la red Natura 2000, describe que en la subárea aparecen *diversas comunidades halófilas de gran interés por su aislamiento de otras localidades similares (Ruppion maritimae, Salicornion patulae, Elymo curvifolii-Juncetum maritimi, Salsolo vermiculatae-Atriplicetum halimi, Limonietum latibracteati).*

Posteriormente, el 23 de diciembre de 2003, el Consejo de Gobierno de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCLM) acordó iniciar el procedimiento de declaración de seis micro-reservas⁶. Por resolución de once de marzo de 2004 se sometió a información pública el expediente, y del trámite de audiencia a los interesados en el procedimiento. Las Salinas del Pinilla es Espacio Natural protegido con la categoría de Microrreserva, por Decreto de cuatro de enero de 2005 al cumplir los requisitos que exigía para ello la Ley 9/99 de Conservación de la Naturaleza de la comunidad autónoma.

Fig. 2: Perímetro de la Microrreserva Salinas del Pinilla



En el preámbulo de la norma se dice: *Además del patrimonio cultural que constituyen estas explotaciones salineras, actualmente con escasas extracciones, esta salina se puede considerar un tipo de hábitat semejante a los humedales salinos al haber sido colonizadas por distintas plantas halófilas. No obstante, la riqueza del conjunto se ve intensificada por la heterogeneidad de ambientes, al presentar el territorio una mineralización espacial y temporal muy marcada, y estar en una zona asociada al río Pinilla, lo cual da*

⁶ Las microrreservas son espacios naturales de pequeño tamaño que contienen hábitats raros, o bien conforman el hábitat de poblaciones de especies de fauna o flora amenazadas, resultando especialmente importante su protección estricta.

lugar a una diversidad de ambientes acuáticos, desde dulces a hipersalinos muy próximos entre sí. Describe la importancia de la flora, con algunas especies en el catálogo de amenazadas, y de la fauna, con un coleóptero endémico en la zona del ecosistema, siendo la finalidad de la Microrreserva: garantizar la conservación de la flora, agua, gea, paisaje, fauna, así como la dinámica y funcionalidad de sus respectivos ecosistemas y geo-sistemas.

Es a destacar que incluye entre las actividades permitidas “la extracción de agua salada a través del pozo existente, en las condiciones actualmente autorizadas”.

Es oportuno tener presente que la finca donde se ubican las Salinas del Pinilla, se denominaba El Sabinar, topónimo frecuente en el Campo de Montiel. La especie que les da nombre es Sabina albar (*Juniperus Thuripera 1*) característica del Campo de Montiel, fue protegida de su aprovechamiento y deterioro por Orden de la Consejería de Agricultura de 9 de febrero de 1987 (DOCM 17 febrero 1987).

Calidad de las aguas de los manantiales del entorno de las Salinas del Pinilla

Para el inventario de humedales del Campo de Montiel (CHG 2006), se llevó a cabo un muestreo para analizar la calidad de aguas en el entorno de las salinas (Figura 3), cuyos resultados se recogen en el Cuadro 5, destacando la ausencia de carbonatos, nitritos y manganeso en todas las muestras, siendo la calificación de la calidad química la siguiente:

Cuadro 5: Analítica complejo Salinas del Pinilla

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	unidad
Conductividad	491	793	545	176.700	808	µS/cm
pH	7.75	7.56	8.00	7.16	7.93	1← → 14
Cloruros	11.68	119.69	16.79	110.861,00	212.50	mg/l
Sulfatos	33.62	49.77	68.72	13.545.67	219.41	mg/l
Bicarbonatos	216.90	229.44	215.65	169.26	89.41	mg/l
Nitratos	59.29	62.75	97.95	0.00	14.33	mg/l
Sodio	7.81	72.04	10.81	65.740.77	29.16	mg/l
Magnésio	16.63	7.95	17.59	1.373.47	117.21	mg/l
Cálcio	75.10	87.41	90.19	1.827.73	2.85	mg/l
Potasio	1.21	10.95	1.48	3.682.77	2.85	mg/l
Amonio	← 0.04	← 0.04	← 0.04	← 0.04	← 0.04	mg/l
Boro	0.09	0.07	0.00	2.33	0.03	mg/l
Fosfato	0.22	0.53	0.33	0.34	0.36	mg/l
Anhídrido silícico	7.42	0.61	7.79	4.81	7.30	mg/l
Hierro	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	mg/l
Totales	430	641	528	197.208	695	mg/l

M1 Manantial del Pinilla 1 Fuente del Pilar	Agua Bicarbonatada-Cálcica
M2 Manantial del Pinilla 2 Fuente del Pozo	Agua Bicarbonatada-Cálcica
M3 Algibe Arroyo de las Salinas	Agua Bicarbonatada-Cálcica
M4 Salmuera Pozo Salinas	Agua Clorurada-Sódica
M5 Río Pinilla	Agua Sulfatada-Cálcica

No fue posible recoger muestras del río Pinilla después de la confluencia del arroyo de las Salinas, ya que se encontraba totalmente seco en dicho año.

El resultado de la Muestra 4 de la concentración salina en la actualidad es del orden de 200.000 mg/l, resultado básicamente coincidente con el del informe de 1965 (Cuadro 1), que es de 259.100 mg/l. El diferente sistema de recogida de muestras podría explicar esta diferencia, ya que el agua actualmente estancada y en régimen estático se encontraría estratificada con mayor salinidad a mayor profundidad.

No existe a la vista de los análisis realizados, ninguna relación hidrogeológica entre los puntos superficiales muestreados (manantiales, aljibe o arroyo) y el pozo de salmuera. Como actualmente se encuentra definitivamente suspendida la explotación de salmuera, el arroyo de las Salinas ya no aporta agua salobre, como sin duda debió hacerlo en épocas de explotación, al río Pinilla.

Solo se puede concluir que esta salmuera debe proceder de la disolución de pequeñas capas de sal presente en la capa yesífera (más probablemente triásicas) por el agua procedente de la formación de carnioles y dolomías procedentes de la base del acuífero del Campo de Montiel.

Parece lógico que si la salmuera de las salinas se produce por disolución de capas de sal presentes en las margas, el agua que disuelve esta sal debe venir de una capa superior de roca permeable que solo podría ser la formación de carnioles y dolomías que producen fuentes de agua dulce en las proximidades de las salinas. Por lo tanto, estas carnioles y dolomías (Lías inferior) se encuentran en una posición estratigráfica superior a las margas con yesos y sal de Las Salinas de Pinilla.

INVENTARIO DE HUMEDALES DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

La Ley de Aguas, una vez incorporada la transposición de la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de agua (DMA), mediante la Ley 62/2003 de 30 de diciembre, dice textualmente:

Artículo 99 bis. Registro de zonas protegidas

- 1. Para cada demarcación hidrográfica existirá al menos un registro de las zonas que hayan sido declaradas objeto de protección especial en virtud de norma específica sobre protección de aguas superficiales o subterráneas, o sobre conservación de hábitats y especies directamente dependientes del agua*
- 2. En el registro se incluirán necesariamente:*
 - e) Las zonas que hayan sido declaradas vulnerables en aplicación de las normas sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias.*

- f) Las zonas que hayan sido declaradas sensibles en aplicación de las normas sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas.*
 - g) Las zonas declaradas de protección de hábitats o especies en las que el mantenimiento o mejora del estado del agua constituya un factor importante de su protección.*
 - h) Los perímetros de protección de aguas minerales y termales aprobados de acuerdo con su legislación específica.*
- 4. Un resumen del registro formará parte del plan hidrológico de cuenca.*

La Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG), en cuya cuenca se ubican las salinas del Pinilla, realizó diversos trabajos de mejora del conocimiento paralelamente al proceso de la nueva planificación, entre ellos un Inventario de humedales de la cuenca del Guadiana (CHG 2008) para incluirlo en el Registro de Zonas Protegidas.

La ficha del humedal Salinas de Pinilla con número de código 0788008 lo califica así: Naturaleza: Artificial asimilable a lago, relacionado con la masa de agua superficial, Subcuenca: río Pinilla. Categoría Río, (Pinilla 1), tipo Río Manchego.

Las coordenadas de su centro son:

UTM (ED 50) Huso 30, X 533800, Y 1299000, Z 960 msnm

Geográficas: (Latitud N_0) Latitud 38° 50'19", Longitud -2° 36' 38"

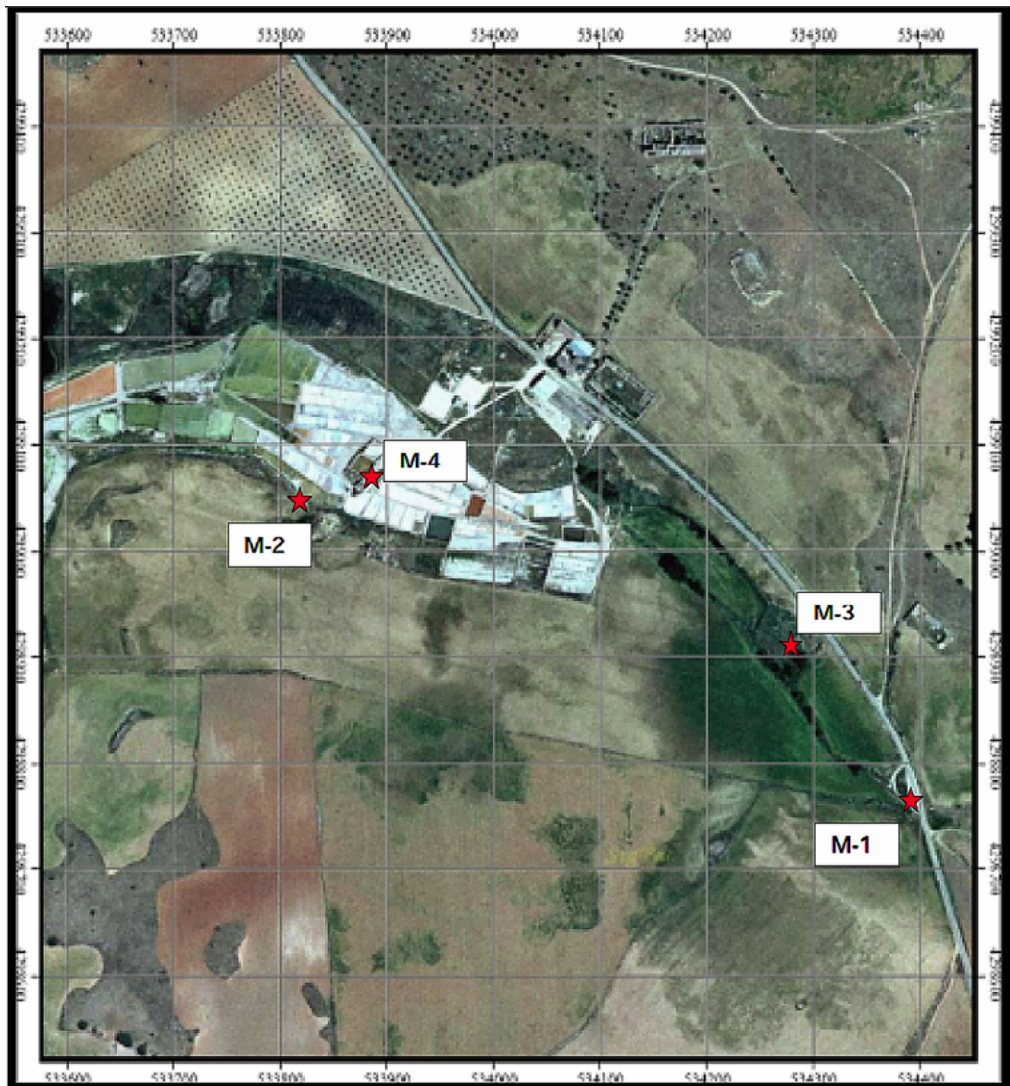
- Hoja 1:50.000 (788 El Bonillo)
- Localizada en la Región Biogeográfica Mediterránea, y en la región ecológica de la DMA Ibérico-Macaronésica.
- Su vaso de inundación, tiene forma Elongada, mide 3.767, 93 m, con una superficie de 28,23 ha, orientación NE_SW, una longitud máxima de 1.135,36 m y una anchura máxima de 425,48 m
- Hidroperíodo: temporal
- Salinidad: Hiposalina
- Alcalinidad: 2,3
- Origen: Fluvial, tectónico y Kárstico
- Sistema de gestión: Sistema Oriental Alto Guadiana

Para este inventario se realizaron análisis de las aguas de algunas zonas húmedas, el de la zona húmeda de las Salinas del Pinilla corresponde a una muestra de una zona de las mismas a la salida del drenaje hacia el río Pinilla, con salinidad superior a la de las muestras del entorno de las Salinas, que alcanza la calificación de Hiposalina, se recoge en la columna de la derecha del Cuadro 6, del que se ha excluido el análisis de la Muestra Nº 4, ya comentado.

La actual delimitación de la zona húmeda Salinas de Pinilla, no alcanza las dimensiones mínimas para su calificación como masa de agua (50 ha), siendo una singularidad dentro del acuífero del Campo de Montiel, se destaca que está ubicada en una superposición de protecciones ambientales: Zona Vulnerable, Espacio natural protegido como Microrreserva, LIC Lagunas de Ruidera, Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda.

Por otro lado está en la cabecera de la subcuenca hidrográfica del Parque Natural de las Lagunas de Ruidera.

Fig. 3: Distribución de los puntos del muestreo



Fuente: Estudio manantiales CHG. *Elaboración Propia.*

Cuadro 6: Comparativa analítica humedal y entorno

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 5	unidad	Inventario humedales
Conductividad	491	793	545	808	µS/cm	8.040
pH	7.75	7.56	8.00	7.93	1← →14	8.4
Cloruros	11.68	119.69	16.79	212.50	mg/l	2.423
Sulfatos	33.62	49.77	68.72	219.41	mg/l	1.039
Bicarbonatos	216.90	229.44	215.65	89.41	mg/l	140
Nitratos	59.29	62.75	97.95	14.33	mg/l	9.3
Sodio	7.81	72.04	10.81	29.16	mg/l	1.361
Magnésio	16.63	7.95	17.59	117.21	mg/l	123
Cálcio	75.10	87.41	90.19	2.85	mg/l	229
Potasio	1.21	10.95	1.48	2.85	mg/l	143
Amonio	← 0.04	←0.04	←0.04	←0.04	mg/l	0.68
Boro	0.09	0.07	0.00	0.03	mg/l	
Fosfato	0.22	0.53	0.33	0.36	mg/l	← 0.21
Anhídrido silícico	7.42	0.61	7.79	7.30	mg/l	
Hierro	0.00	0.01	0.01	0.00	mg/l	
Totales	430	641	528	695	mg/l	5.468

PLAN DE LA DEMARCACIÓN DEL GUADIANA 2010-2015

En la parte del Campo de Montiel de la cuenca hidrográfica del río Guadiana, sub-cuenca de las Lagunas de Ruidera, se ubican las Salinas del Pinilla, que ocupan parte del propio arroyo que nace en el manantial Pilar de las Salinas, del que toma su nombre (arroyo de las Salinas), formando una zona húmeda hasta su confluencia en el río Pinilla, considerado este la cabecera del río Guadiana Alto. Su red hidrográfica está conectada con al acuífero del Campo de Montiel, del que brotan los diversos manantiales que forman o alimentan el río Guadiana Alto.

En el Plan de la demarcación del Guadiana 2010/2015 la zona húmeda de las Salinas del Pinilla está relacionada con las siguientes unidades:

1. Masa de Aguas Subterráneas (MASb) Campo de Montiel código 30609, de reciente definición a raíz de la implantación de la Directiva Marco del Agua y recursos disponible máximo 9 hm³/año. Anteriormente era conocida como Sistema Acuífero N° 24 según la terminología usada en el Mapa Hidrogeológico de España de 1.971, en1991 Unidad Hidrogeológica 04.06 Campo de Montiel, fue declarada sobreexplotada en 1988 y como Acuífero de Especial Protección en el anterior Plan Hidrológico del Guadiana I

El acuífero principal está formado por las calizas y dolomías del Lías Inferior que presentan un espesor que oscila entre los 60 y 100 m, se caracteriza por porosidad secundaria con una permeabilidad media – alta debido a la fracturación y disolución, y funciona como acuífero libre. Menos permeables son las calizas oolíticas del Lías

superior. El sustrato impermeable del acuífero lo forman los materiales de las facies Keuper del Triásico superior. Los materiales pliocuaternarios presentes constituyen también un acuífero libre, de porosidad primaria y permeabilidad media.

Los límites del acuífero se encuentran muy bien definidos tanto al sur como al oeste, y no tanto hacia el norte y este:

- Límite Oeste: Se localiza entre los municipios de Manzanares y Santa Cruz de los Cáñamos con dirección noroeste-sureste donde se ponen en contacto las calizas y dolomías jurásicas con los materiales de las facies Keuper del triásico.
- Límite Meridional: Se dispone en dirección noreste-suroeste y al igual que en el caso anterior los materiales carbonatados del jurasico limitan con las facies Keuper impermeables.
- Límite Septentrional: También se orienta noreste-suroeste, pero a diferencia del límite sur aquí no se detecta una delimitación clara ya que los materiales carbonatados jurasicos del Campo de Montiel se hundan a favor de fallas normales hacia el norte siendo cubiertos por los materiales terciarios característicos de la Llanura Manchega.
- Límite Oriental: Este límite, el peor definido por su mayor complejidad tectónica, se ha establecido en base a la divisoria hidrológica de las cuencas del Guadiana y del Júcar.

La MASb Campo de Montiel tiene un funcionamiento hidrodinámico en el que se identifican al menos 6 sectores donde la circulación del agua se encuentra condicionada fundamentalmente por las litologías presentes y los paleo-relieves generados por los sistemas de fracturas que generan levantamientos y hundimientos del zócalo impermeable, y que dan lugar a umbrales tectónicos que compartimentan el flujo subterráneo.

Interesa su sector central, desde el nacimiento del río Pinilla hasta el contacto con la MASb Mancha Occidental II. Este sector funciona desde el umbral formado por la falla Villahermosa-Viveros hacia aguas abajo donde los flujos de aguas subterráneas discurren hacia la red fluvial formada por el río Pinilla y el Alto Guadiana, y se filtra bajo los materiales cretácicos de Mancha Occidental.:

Las descargas superficiales del acuífero en esta zona se producen mediante varios manantiales asociados a la franja Villahermosa-Viveros que actúa como umbral tectónico. Esta parte de la MASb, intensamente fracturada, se caracteriza por numerosos levantamientos y hundimientos de los bloques carbonatados que disponen en superficie los materiales del Lías Medio y Superior, e incluso el zócalo impermeable (trías). Esta zona que constituye una divisoria de aguas subterráneas entre los denominados Sector Central y Vertiente al Guadalquivir.

Los manantiales que alimentan al río Pinilla están asociados bien al contacto entre el Lías Medio (permeabilidad baja) y el Lías Superior (permeabilidad media-alta) o bien entre estos materiales y el Trías impermeable. En esta zona fueron seis los manantiales seleccionados por el inventario de manantiales de la CHG.

2. MASp Río Pinilla I, Código 13344 Tipo Río Manchego, sus principales rangos y umbrales son:

Altitud	580-930 msnm
Amplitud térmica anual	19.0-21.0
Área de cuenca	50-2.400 km ²
Orden del río de Satrahler	1-4
Pendiente media de la cuenca	0.6-2.7
Caudal medio anual	0.1-3.3 m ³ /s
Caudal específico medio de la cuenca	0.001-0.004 m ³ /s km ²
Temperatura media anual	13-15 ° C
Distancia a la costa	115-300 Km
Latitud (ggmmss)	-040419 a -010403
Longitud (ggmmss)	383126 a 401014
Conductividad	→ 285 µS/cm ²

3. Zona Vulnerable a la contaminación por Nitratos de origen agrario. Declarada protegida por Orden de la Consejería de agricultura de la JCCCLM de 7 de agosto de 1988, denominada Campo de Montiel, incluyendo los términos municipales de Alcaraz, El Bonillo y Viveros, limita la carga de Nitrógeno por ha y períodos anuales.

MARCO ECOLÓGICO

Analizado el Patrimonio Histórico y Etnológico en el epígrafe de Antecedentes, se analiza el Patrimonio Natural y la Biodiversidad del ecosistema de las Salinas del Pinilla del Campo de Montiel.

La DMA define las aguas como un Patrimonio natural especial, y la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, califica las aguas superficiales y subterráneas como recurso natural, y a los ríos como corredores ecológicos.

La Red Natura 2000 integra el Lugar de Interés Comunitario de las Lagunas de Ruidera que contiene la subárea de las Salinas del Pinilla, protegida como Microrreserva.

La Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda tiene definido en 2014 un perímetro, que comprende la Microrreserva de las Salinas del Pinilla.

El Convenio de Ramsar, contiene en su lista de humedales de Importancia Internacional las Lagunas de Ruidera, en la cabecera de su subcuenca se ubican las Salinas del Pinilla. Procede recordar que el artículo 4 de la convención compromete la protección de todos los humedales, incluidos los artificiales, caso de las salinas del Pinilla.

Las Salinas del Pinilla cuentan con una superposición de protecciones: Zona Vulnerable, Espacio natural protegido como Microrreserva, LIC Lagunas de Ruidera, Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. Los objetivos ambientales de su gestión son la suma de todos ellos, que se traducen en el mantenimiento ecológico de la Microrreserva.

Los objetivos ambientales del Plan de la Demarcación del Guadiana son:

- Masa de agua subterránea Campo de Montiel, alcanzar el buen estado cuantitativo y químico de las agua subterráneas en el período 2021-2027.

- Masa de Agua superficial Río Pinilla I, alcanzar el buen estado ecológico en el período 2021-2027,
- Para la zona Húmeda Salinas del Pinilla, el objetivo debería ser el de alcanzar y mantener permanentemente su buen estado ecológico en 2015.

CONCLUSIONES

El Estudio del Patrimonio Etnológico puso de relieve la gravedad del deterioro del Patrimonio Histórico Industrial y del natural de las Salinas del Pinilla en las últimas décadas. Además es reflejo de las vicisitudes de la historia de España y de la de sus valores patrimoniales y naturales desde épocas muy remotas hasta la más reciente actualidad.

1. La explotación de las salinas ha dado lugar a diferentes zonas de salinidad de las aguas en el entorno del pozo de explotación y en el desagüe al río Pinilla, que propician la aparición de diferentes especies vegetales de interés en el ámbito de las salinas, algunas en riesgo de desaparición.
2. Una serie de vicisitudes han afectado al espacio de las Salinas del Pinilla a lo largo de los últimos siglos, propiciando la aparición de un ecosistema artificial que hace una década fue protegido, dándose la paradoja que la parada de las actividades industriales que propiciaron su aparición, supone una presión para su supervivencia, que como consecuencia la pone en riesgo de desaparición.
3. El abandono de la actividad económica de las salinas supone una presión sobre la zona húmeda, que puede conducir a la desaparición de sus valores ecológicos.
4. El Inventario de Lugares de Interés Hidrogeológico de la Demarcación del Guadiana incluye las Salinas del Pinilla, si bien no están protegidas todavía como Patrimonio Geológico.
5. El ámbito territorial de la Microrreserva Salinas del Pinilla, es reducido por no abarcar todo el espacio influido por las aguas de las salinas
6. El marco jurídico de la microrreserva ecológica permite la explotación de la sal.

PROPUESTAS

Las vicisitudes de las Salinas del Pinilla derivan en una paradoja, la explotación de un recurso natural, en contra de lo que es habitual, ha generado un espacio natural de singular valor ecológico, ubicado en una comarca que ha merecido una acumulación de protecciones ambientales, incluida la de los terrenos de las propias salinas. La paralización de la actividad económica pone en riesgo la pervivencia de este humedal protegido. Si la explotación de las Salinas se paraliza por causas de no rentabilidad económica, existe la responsabilidad de mantener el humedal, ante la singularidad del mismo y su protección administrativa.

1. Se propone ampliar el espacio de la Microrreserva hasta integrar todo el ámbito que ocupa la vegetación de interés y en particular la protegida.
2. Se propone rehabilitar y utilizar el patrimonio Industrial y natural de la Salinas del Pinilla como recurso para el turismo interior, y complementariamente encomendar

su funcionamiento y la gestión del mismo a alguna entidad o institución albaceten- se y/o ONGs conservacionistas bajo la figura de cuidadores del territorio.

3. Se propone la inclusión de Las Salinas del Pinilla en el inventario de Lugares de interés Geológico.
4. Se propone la protección del conjunto kárstico del Campo de Montiel incluyendo el elemento geológico que produce la salmuera.
5. En el campo de Montiel además existen elementos geológicos suficientes para dotarle de las infraestructuras propias de un Geoparque.
6. Asumiendo la propuesta del autor del Estudio del Patrimonio Etnológico se propone ampliar el conocimiento, la restauración del conjunto ante su actual degradación, y la Protección conjunta del Patrimonio Natural, Histórico-Industrial y Material de las Salinas del Pinilla.

NOTA METODOLÓGICA

El presente trabajo se ha realizado a partir de la invitación que contiene el estudio del Patrimonio etnológico de las Salinas del Pinilla referido en el epígrafe de Antecedentes.

A partir del citado estudio se ha enfocado el análisis de las Salinas del Pinilla como Patrimonio Natural desde su condición de Zona Húmeda singular del Campo de Montiel y de la Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda.

Se ha descrito el marco geológico del Campo de Montiel, el Marco geográfico-administrativo y el marco ecológico del humedal objeto del presente trabajo.

Asimismo se ha trabajado con la analítica de las aguas del humedal cuyas distintas calidades influyen en la biodiversidad vegetal de las zonas de las salinas.

Se han analizado los efectos previsibles del abandono de la actividad salinera.

Se han analizado las vicisitudes históricas y administrativas de la Zona Húmeda, y las ecológicas, a partir de las fuentes que se relacionan en el epígrafe Referencias.

Se han obtenido las conclusiones, que finalizan con una serie de propuestas.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- CARIDE, C. (1965). Informe técnico para la concesión de explotación. Expediente CIRUJANO, S. (1990). Flora y vegetación de las lagunas y humedales de la Provincia de Albacete. Instituto de Estudios Albacetenses. CSIC.
- JCCLM 2000. Propuesta LIC Lagunas de Ruidera. Expediente.
- JCCLM 2005. Declaración Microrreserva Salinas del Pinilla. DOCM 07/01/2005.
- CHG 2005. Inventario de manantiales del Campo de Montiel.
- CHG 2008. Inventario de humedales de la cuenca del Guadiana en Castilla-La Mancha.
- CARMONA, D. (2010). El Patrimonio Etnológico en las Salinas del Pinilla. AL_BASIT Revista de Estudios Albacetenses.
- IGME-CHG 2010. 250 Lugares de Interés Hidrogeológico de la Demarcación del Guadiana. DVD interactivo.
- CHG 2013. Plan H de la Demarcación del Guadiana 2010-2015. BOE martes 21 de mayo 2013 RD 354 de 17 de mayo.

Gestión y administración de los valores de los humedales: un paso más allá de su restauración ecológica

Amanda del Río Murillo, Carlos Pérez Santiago,
Ernesto Aguirre Ruiz¹

Resumen: La Fundación Global Nature (FNG) es una entidad privada de carácter benéfico docente, cuyos fines fundacionales son la conservación, protección y ordenación del medio ambiente; desde su creación en 1993 ha estado vinculada a importantes proyectos de restauración ecológica, gestión y mantenimiento de 88 humedales en España que suman 2.700 ha de superficie, siendo esta actividad su principal línea de trabajo. Además la Fundación ha desarrollado proyectos a nivel internacional a través de la red Living Lakes y de proyectos de cooperación internacional al desarrollo.

Palabras clave: humedales, restauración, gestión, ONG.

Abstract: Fundación Global Nature is a private national and charitable organization, whose founding purposes are the conservation, protection and management of the environment; since its creation in 1993 FGN has been involved in relevant projects developed to maintain, manage and restore 88 wetlands in Spain, covering a surface of 2,700 hectares. So this is the main working area. Additionally FGN has developed projects at international level with the Living Lakes network and through international development cooperation projects.

Keywords: wetlands, restoration, management, NGO.

¹Del Río, A. Lda. Ciencias Ambientales. Pérez, C. Ldo. Geografía. Aguirre, E. Ldo. En Biología. Equipo técnico Fundación Global Nature Oficina central (Las Rozas de Madrid). madrid@fundacionglobalnature.org

La Fundación Global Nature es una entidad privada de carácter benéfico docente, cuyos fines fundacionales son la conservación, protección y ordenación del medio ambiente; desde su creación en 1993 ha estado vinculada a importantes proyectos de restauración ecológica, gestión y mantenimiento de 88 humedales en España que suman 2.700 ha de superficie, siendo esta actividad su principal línea de trabajo. Además la Fundación ha desarrollado proyectos a nivel internacional a través de la red Living Lakes y de proyectos de cooperación internacional al desarrollo.

Los objetivos que persigue la Fundación Global Nature con la recuperación de los humedales son:

- 1) Recuperar la morfología e hidrología de humedales degradados o desaparecidos, con especial atención a los que acogen hábitats y especies prioritarias de conservación y en cumplimiento de las Directivas Comunitarias Marco del Agua (2000/60/CE), de Aves (79/409/CEE) y Hábitat (92/43/CEE).
- 2) Realizar un seguimiento de las especies y hábitats amenazados asociados a los humedales, como indicadores de su recuperación.
- 3) Diseñar y poner en marcha planes de gestión de los humedales que garanticen la compatibilidad entre la conservación de la biodiversidad y la dinamización socioeconómica en el medio rural, ya sea a través de actividades nuevas o recuperando y fomentando actividades tradicionales, asegurando así una conservación a largo plazo.
- 4) Reorientar el uso público del entorno de los humedales, creando infraestructuras de bajo impacto que posibiliten un acceso organizado y una información adecuada para la población local y los visitantes. De esta forma se garantiza la comprensión de estos ecosistemas y su papel dinamizador del medio rural.
- 5) Diseñar y ejecutar soluciones tecnológicas sostenibles para asegurar la calidad de estos ecosistemas y la correcta regulación hidrológica, tales como la implantación de filtros verdes para depuración de aguas, o la restauración ambiental de canales y de bosques de ribera que minimizan los riesgos de inundaciones y suponen un refugio para flora y fauna de alto valor.

Con la consecución de estos objetivos en cada proyecto se obtienen beneficios tanto para las especies de flora y fauna que conforman la biodiversidad de los hábitats y espacios restaurados, como para las personas que los visitan, que viven en ellos o que viven de ellos.

Para lograr este impacto positivo en el entorno socioeconómico de los humedales, y crear así oportunidades de desarrollo en el medio rural, la Fundación Global Nature sigue una metodología de trabajo basada en:

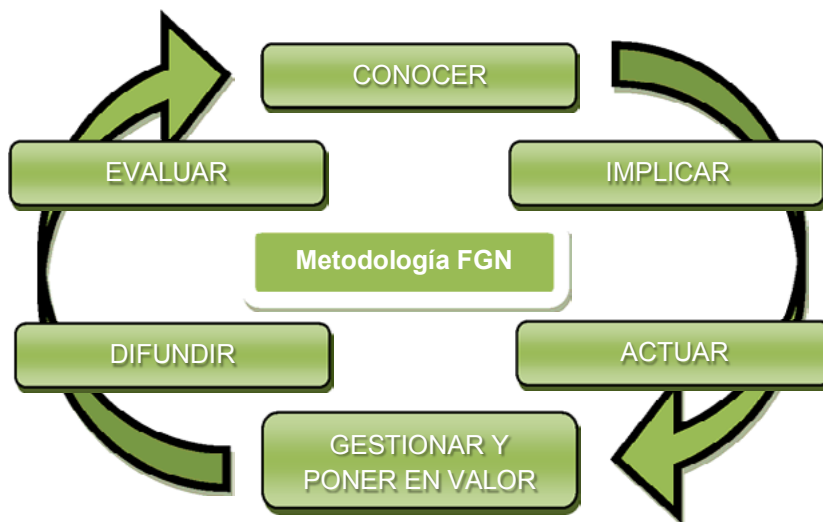
- a) Participación e implicación. Asegurando que las comunidades locales participan en el proyecto, con actividades como voluntariados, consultas públicas, y talleres, orientando así el desarrollo de diferentes aspectos de los proyectos, que van desde la innovación tecnológica hasta la recuperación de actividades tradicionales.
- b) Educación y difusión. Todos los proyectos incluyen educación ambiental, a través de cursos, seminarios, conferencias, intercambios juveniles, campos de trabajo y la edición de los trabajos de investigación.

- c) Evaluación y continuidad: La restauración de humedales es un proceso que no solo puede basarse en una intervención puntual sino que debe incluir necesariamente acciones para comprobar a largo plazo el éxito de las intervenciones.

Siguiendo este marco metodológico las acciones que la Fundación Global Nature lleva a cabo en sus proyectos de restauración de humedales son:

- a) Diagnósticos ambientales y socioeconómicos
- b) Compra de tierras o acuerdos de custodia del territorio en humedales
- c) Restauración y adecuación de cubetas y entorno perilagunares
- d) Reordenación del uso público y planes de gestión
- e) Difusión de resultados y educación ambiental
- f) Protocolo de seguimiento e indicadores.

Figura 1: Esquema de la metodología de trabajo de Fundación Global Nature la cual está inspirada en el Ciclo de Deming, entendiendo que tras una restauración ecológica la gestión del mismo es un proceso de mejora continua.



Fuente: Fundación Global Nature.

Sin embargo, así como no todos los humedales y sus entornos son iguales, los proyectos de restauración de los mismos no siempre contemplan el mismo tipo de acciones. En la restauración ecológica no hay recetas universales válidas y no siempre, por ejemplo, es necesario comprar terrenos (en los humedales y sus entornos) ya que su titularidad no se interpone a su conservación. En otros casos el mayor esfuerzo se debe concentrar en la concienciación y la educación ambiental para garantizar que las labores de restauración perduren en el tiempo.

Lo cierto es que estas acciones se intentan combinar convenientemente con el propósito único de obtener el mayor beneficio posible, tanto en el aspecto conservacionista como en el aspecto socioeconómico de estos espacios de alto valor.

Es así como la Fundación Global Nature, ha trabajado en más de 2.700 ha de humedales de 6 comunidades autónomas diferentes, invirtiendo en 20 años, un total de 10.637.499 de euros (Cuadro 1).

Cuadro 1: Relación de humedales en los que la Fundación Global Nature ha estado trabajando desde 1993.

Humedal	Superficie (ha)	Región	Estatus de Protección	Inversión
Humedales de La Nava, Boada y Pedraza	450	Castilla y León (Palencia)	ZEPA, RAMSAR	4.218.833 €
Humedal El Oso	16	Castilla y León (Ávila)		36.150 €
Lagunas del Canal de Castilla	70	Castilla y León (Palencia)	ZEPA, LIC	1.543.448 €
Humedales de Villacañas	336	Castilla-La Mancha (Toledo)	ZEPA, LIC	1.567.764 v
Humedales de La Mancha	1.760	Castilla-La Mancha (Toledo, Cuenca y Guadalajara)	ZEPA, LIC	2.599.274 €
Laguna de Louro	27	Galicia	ZEPA	200.000 €
Roñanzas Peatlands	20	Asturias	ZEPA	
Tancat de Milia	35	Comunidad Valenciana	ZEPA, LIC, RAMSAR	300.000 €
Reserva de Talaván	39	Extremadura	ZEPA	78.000 €
Dehesas y estanques (Talaván, Trujillo e Hinojal)	22	Extremadura	* Estanques mediterráneos temporales (3170*)	130.030 €
SUPERFICIE TOTAL	2.755 (hectáreas)			10.673.499 €

Fuente: Fundación Global Nature.

En este capítulo se presentarán, a modo de ficha, una muestra de las actividades más representativas de la Fundación Global Nature en materia de restauración de humedales, agrupando varios proyectos según el área de actuación, diferenciando entre Extremadura, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana.

Humedales Extremeños
<p>Dónde: ZEPA "Embalse de Talaván" (ES0000418). Comarca de Cuatro Lugares (Cáceres).</p>
<p>Descripción general Los proyectos de restauración y gestión de humedales para favorecer la biodiversidad así como para contribuir al desarrollo sostenible de comarcas rurales extremeñas como Cuatro Lugares y el entorno del embalse de Talaván, son uno de los mejores ejemplos que la Fundación Global Nature tiene respecto a la cogestión de terrenos privados por medio de acuerdos de custodia que implican a la sociedad civil y potencian el turismo ornitológico y de naturaleza. Las acciones aquí descritas han contado con financiación de y Fundación Banco Santander y de Obra Social Caja Madrid.</p>
<p>Necesidad de actuación Las frecuentes situaciones de conflicto entre el sector agroganadero y la conservación de la naturaleza pueden evitarse mediante el desarrollo de proyectos donde la restauración ecológica de centros de biodiversidad (humedales) partan de la base de estudios ecológicos previos, en entornos agroforestales privados y/o públicos, cogestionados por medio de convenios de custodia, de forma que se implique a los diferentes grupos de interés que coinciden en el territorio.</p>
<p>Actuaciones y Resultados Este proyecto se basó en acuerdos de custodia del territorio con propietarios de dehesas, 6 de ellas en el municipio de Talaván, una en Hinojal y otra en Trujillo. Estas fincas fueron la base territorial para trabajar en la mejora de ocho humedales: cinco charcas fueron recuperadas con acciones de limpieza, y se crearon tres nuevas charcas. Las charcas ganaderas sirven no punto de agua para el ganado ovino, caprino, vacuno, porcino, etc., presente en las fincas, y además son cuerpos de agua con un valor ambiental considerable, ya que por sus características de manejo constituyen hábitats esenciales para la conservación de determinados grupos de especies (aves, anfibios, plantas acuáticas, etc.), algunos de ellos en peligro de extinción. Son humedales estacionales esenciales en ambientes mediterráneos. La labor de la Fundación en este caso se orienta al restablecimiento de las condiciones naturales óptimas de estos humedales, al fortalecimiento del hábitat de determinadas especies (ej. especies presa) o a la conectividad del territorio. Las labores de ampliación y construcción de las charcas se realizaron en verano; al comienzo del otoño y con la llegada de las lluvias se realizó una labor de revegetación de taludes de estos humedales y como parte de los acuerdos de custodia se pactó con los propietarios proteger esta revegetación con un cercado para así garantizar la exclusión del ganado, evitando que los animales pisotearan las plantas antes de que estas se hubiesen fijado y establecido apropiadamente. Las labores de puesta en valor también se han realizado en zonas públicas. La restauración y gestión del embalse de Talaván y su entorno reviste especial interés ecológico ya que este embalse supone un eslabón esencial en la conectividad de las dehesas de Monfragüe y las estepas cerealistas de los Llanos de Cáceres. El embalse es hábitat complementario para gran número de especies de fauna que se alimentan en las dehesas y los llanos abiertos pero que buscan agua y refugio en el embalse, como sucede durante los meses de invierno con la población de más de 2.000 de grullas que llegan a estas comarcas. Algunas de las acciones que se han desarrollado en el embalse de Talaván han sido la instalación de islas de nidificación para disminuir el riesgo de depredación de nidadas por mamíferos (perros, gatos, ratas, etc.). Una reforestación con 6000 ejemplares de vegetación arbustiva y arbórea ha supuesto la creación de bosquetes discontinuos como zonas de refugio y reproducción para aves y mamíferos. Algunas de las orillas se dejaron como espacios abiertos, especialmente en las orillas donde descansan las grullas y en las áreas por donde acceden los pescadores al embalse. Se han adecuado áreas de estacionamiento e instalado paneles informativos para dar a conocer a los visitantes las normas básicas y valores naturales del espacio. A través de actividades de sensibilización y educación ambiental con escolares de la comarca (concursos, premios, actividades en el aula y en campo), con pescadores (folleto sobre buenas prácticas que permiten integrar disfrute de la pesca y conservación del embalse) y con medios de comunicación el proyecto ha logrado la puesta en valor de este ecosistema.</p>
<p>Lecciones aprendidas El éxito de la custodia del territorio pasa por lograr comunicar a los propietarios privados los múltiples beneficios que aporta su implicación más allá de una implicación puntual asociada a los recursos económicos de proyectos o acciones concretas. Es necesario contar con información sobre la evolución de las acciones desarrolladas para así poder informar a los diferentes colectivos implicados (ONG o entidad de custodia, propietarios, financiadores...) Los beneficios de la custodia podrían resumirse en: reconocimiento social, satisfacción personal, aprendizaje mutuo, asesoramiento, planificación del futuro de la finca, actuaciones en la finca a través del voluntariado y posibilidades de financiación.</p>
<p>Enlaces http://www.fundacionglobalnature.org/proyectos/humedales/custodia_cajamadrid/custodia_humedal.htm http://www.fundacionglobalnature.org/proyectos/humedales/talavan/recuperacion_talavan.htm http://www.fundacionglobalnature.org/proyectos/humedales/proyecto_humedales_fincasganaderas.htm</p>

LIC y ZEPa Lagunas del Canal de Castilla (ES0000205)

Dónde: Humedales asociados al Canal de Castilla (Castilla y León)

Descripción general

El objetivo de las acciones que aquí se describen fue restablecer un estado de conservación favorable de los humedales asociados al Canal de Castilla en la comarca de Tierra de Campos, favoreciendo las condiciones necesarias para la recuperación de especies prioritarias e impulsando una colaboración de gestión. Estas acciones fueron financiadas por el proyecto "Restauración y gestión de lagunas: ZEPa Canal de Castilla" (LIFE 06 NAT/E/000213).

Necesidad de actuación

El Canal de Castilla presenta zonas húmedas dispersas con tamaños que suelen ser inferiores a tres hectáreas. Se distribuyen a lo largo de más de 150 kilómetros, encontrándose en un medio altamente intervenido por la acción humana. Estos ecosistemas son escasamente valorados tanto a nivel general como a nivel local, lo que supone que sean humedales altamente vulnerables y frágiles a posibles perturbaciones externas. Hasta 2006, fecha de inicio del proyecto LIFE desarrollado en estas zonas húmedas, no se contaba con medidas adecuadas para su conservación y gestión.

Actuaciones y Resultados

El proyecto incluyó acciones de **restauración hidrológico-forestal**: se mejoraron los niveles de inundación en trece humedales mediante la anulación de un drenaje y la construcción de once tomas de agua. Además se hizo una **reforestación** de 15.140 metros lineales de setos vivos en sus márgenes y zonas aledañas, lo que implicó la plantación de 109.087 árboles y arbustos de especies propias de este entorno. Se diversificó la estructura de la vegetación palustre al intercalar zonas de aguas libres, de vegetación palustre en crecimiento y de vegetación palustre vieja, consiguiendo con ello un hábitat más productivo e interesante para las especies prioritarias de conservación.

También se realizaron **acciones de seguimiento faunístico** inventariando y siguiendo las principales comunidades faunísticas vertebradas, lo que permitió actualizar y ampliar la información existente, valorar sus tendencias poblacionales y detectar las amenazas que enfrentan. De entre los resultados destaca que se comprobó la reproducción puntual, tras la desaparición a principios del siglo XX de la principal colonia, de una cría de garza imperial en uno de los humedales del Canal de Castilla. También se constató la importancia de estos humedales y del propio Canal de Castilla como lugar de alimentación para la avifauna; **se capturaron y marcaron** quince aguilucho laguneros, y se obtuvieron datos hasta aquel momento desconocidos sobre la utilización del hábitat y las amenazas que se ciernen sobre esta especie. Esta información ha sido imprescindible para la correcta puesta en marcha de medidas de conservación de esta rapaz. Además **se anillaron casi 9.000 passeriformes palustres**, destacando entre ellos el carricerín cejudo.

Durante el proyecto se desarrollaron **acciones divulgativas** como: (i) señalización con paneles informativos describiendo las características y limitaciones administrativas de cada humedal; (ii) rutas interpretativas; (iii) observatorios de aves en la laguna de la Venta de Valdemudo (Becerril de Campos) y en la laguna de Valdemorco (Boadilla del Camino); (iv) folleto; (V) boletines digitales en español e inglés; (vii) DVD divulgativo del proyecto; (viii) página Web y material publicitario (pins, camisetas, etc.).

En lo que se refiere a acciones de **educación ambiental** también se llevaron a cabo varias entre las que destacan: (i) exposición móvil sobre el Canal de Castilla y sus humedales, explicando los objetivos del proyecto; la exposición visitó 23 localidades y se impartieron 48 charlas educativas que llegaron a más de 6000 personas; (ii) edición de cartilla educativa para escolares de secundaria y cuaderno del docente.

Finalmente el proyecto incluyó como parte esencial una labor de **vigilancia y monitorización** de especies exóticas como el visón americano (*Neovison vison*) para facilitar la recuperación de las especies propias del ecosistema, en este caso las afectadas por depredación o competencia con el visón, como es el caso de la rata de agua (*Arvicola sapidus*) o el turón (*Mustela putorius*).

Lecciones aprendidas

El proyecto LIFE 'Restauración y gestión de lagunas: ZEPa Canal de Castilla' fue elegido por la Comisión Europea como uno de los 'Best of the best projects', o lo que es lo mismo, uno de los mejores **proyectos LIFE** en el ámbito de la Unión Europea. Este reconocimiento supuso una amplia comunicación de sus acciones y resultados, derivando así en sinergias y mayor impacto de las acciones.

La aprobación de un **Plan de Gestión para el espacio natural**, el primero de esta naturaleza que se aprobó en Castilla y León dentro de la Red Natura 2000, fue el resultado de la conjunción de **intereses comunes** de todas las administraciones competentes (Junta de Castilla y León, Confederación Hidrográfica del Duero, Diputación de Palencia y Ayuntamientos) hecho que permitió obtener una notable mejora del estado de conservación de estos los humedales.

Enlaces

<http://www.lifecanaldecastilla.org/>

Humedales de La Mancha

Dónde: LIC y ZEPA "Humedales de La Mancha" (Toledo, Ciudad Real y Cuenca, Castilla-La Mancha)

Descripción general

Trabajos de restauración y gestión del espacio red Natura 2000 "Humedales de la Mancha" que engloba 27 lagunas en 10 municipios castellanomanchegos. En 1999 comenzó el proyecto europeo LIFE "Humedales de Villacañas" que se extendió hasta 2003. El proyecto LIFE "Humedales de la Mancha" (LIFE 10 NAT/ES/000563) prolonga la labor comenzada en 1999 con el proyecto LIFE "Humedales de Villacañas", extendiendo así a 27 lagunas de La Mancha Húmeda la experiencia adquirida en los 3 humedales de Villacañas (Toledo), y orientado a la restauración de los albardinales y estepas salinas mediterráneas que circundan los humedales manchegos. Y en paralelo se han llevado a cabo numerosas acciones con diferentes colectivos y financiadores (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Ayuntamiento de Villacañas, ESPARVEL, LEADER Dulcinea, Gas Natural Fenosa, Obra Social Caja Madrid, Fundación Biodiversidad, MAGRAMA, y LEVER FABERGÉ).

Necesidad de actuación

Las principales amenazas identificadas en estos humedales son:

- Presión agroganadera en los suelos salinos del entorno de las lagunas endorreicas.
- Escaso conocimiento y valoración de los albardinales y las estepas de Limonetalia, ecosistemas frágiles y muy poco estudiados.
- Zanjas de drenaje y balsas relacionadas con la extracción de sales (actividad abandonada).
- Acumulación de escombros y plásticos.
- Incorrecto uso público.

Actuaciones y Resultados

Los dos proyectos LIFE citados, unidos a diferentes intervenciones de menor recorrido en tiempo e inversión, han comprendido acciones que incluyen:

- A) **Compra, arrendamiento y acuerdos de custodia de parcelas** en terrenos lagunares y perilagunares con el objetivo de disminuir la presión agraria, creando en estas tierras zonas tampón.
- B) Acciones de **restauración** de la cubeta lagunar por medio de limpieza de basuras y escombros, cierre de zanjas y de balsas de extracción de sal
- C) Reordenación de caminos para el correcto uso público, limitando el acceso a espacios sensibles;
- D) Restauración de la vegetación natural por medio de producción y plantación de especies autóctonas;
- E) Creación de filtros verdes para la mejora de la calidad de las aguas en la Laguna Larga de Villacañas
- F) Acciones de seguimiento por medio de estudios científicos, censos de fauna, inventarios de flora y cartografía botánica mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- G) Difusión a través de noticias, programas de radio y televisión, señalización e información de los humedales in situ, charlas y conferencias en instituciones educativas.
- H) Educación ambiental
- I) Fomento la producción agropecuaria sostenible y comercialización diferenciada de productos agrarios procedentes de la red Natura 2000.
- J) Elaboración de **planes de gestión**

Los resultados han supuesto la compra de la laguna de Peña Hueca por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Tras la compra fue declarada Reserva Natural. Además se ha ampliado el LIC "Humedales de La Mancha", incluyendo lagunas que anteriormente quedaban fuera como La Gramosa y La Redondilla. La participación del Ayuntamiento de Villacañas ha hecho posible la continuidad de los proyectos emprendidos en el municipio, y su transferencia a otros pueblos y humedales.

Lecciones aprendidas

En algunos casos la compra de tierras ha generado la especulación por parte de sus propietarios y se aconseja ser cuidadoso en las negociaciones de compra-venta. Ciertamente esta medida resulta totalmente efectiva pero obviamente es muy costosa, por lo que su efectividad-coste la hace solo aconsejable para aquellas áreas de conservación prioritaria y donde no sean factibles otras actuaciones.

Enlaces

www.humedalesdelamancha.es

[Humedales de Villacañas](#)

*Humedales artificiales***Dónde:** Parque Natural de L'Albufera (Valencia)**Descripción general**

La creación de humedales artificiales para mejorar la calidad del agua, es una técnica no convencional que la Fundación Global Nature viene desarrollando desde hace años como solución al problema de las aguas residuales. Los diferentes proyectos realizados han sido financiados por entidades tan diferentes como la Agencia Española de Cooperación Internacional del Desarrollo - AECID, agencias autonómicas de cooperación internacional, el Banco Asiático de Desarrollo, Eroski, Fundación Caja Navarra o Fundación Biodiversidad. Las acciones aquí descritas, desarrolladas en el Tancat de Milia, han sido financiadas por ACUAMED (Aguas de las Cuencas del Mediterráneo), empresa estatal dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente.

Necesidad de actuación

La problemática del Parque Natural en cuanto a entradas de agua con excesiva carga de materia orgánica e inorgánica motivó la creación de filtros verdes así como actuaciones en la propia EDAR dirigidas a aumentar la calidad del efluente obtenido; y se han desarrollado infraestructuras que faciliten el uso eficiente de los efluentes para fines agrícolas o ecológicos (ej. balsa de acumulación de efluentes para riego de cítricos).

Actuaciones y Resultados

Control de la vegetación: la gestión correcta de la vegetación de estos humedales artificiales es fundamental para mantener una depuración de las aguas continua y eficaz. La gran cantidad de biomasa que producen puede llegar a colmatar el humedal en pocos años o conllevar problemas de proliferación de especies no deseadas. La gestión se centra en:

- Control fitopatológico
- Reposición de plantas
- Siega periódica
- Gestión de la biomasa

Una vez estabilizada la vegetación, ya que tras la plantación, la masa vegetal debe pasar un periodo de adaptación, se realiza un estudio previo de las áreas donde es necesario cosechar y aquellas en las que no. Estas áreas se definen en función de:

- Grado de renaturalización obtenido
- Existencia de especies menos resistentes a las siegas
- Eficacia depurativa
- Ocupación por las aves como zonas de nidificación
- Predación sufrida por la fauna

La siega, tanto si es mecánica como manual, debe planificarse en función de la época del año en que se realiza para así evitar daños a la fauna asociada al hábitat, y para que su eficacia sea máxima. Por lo general, debe realizarse dos veces al año, una de ellas después del verano (octubre), ya que el carrizo y la enea, son especies vegetales que producen grandes cantidades de biomasa que llevar a la eutrofización si no es retirada.

La segunda siega puede realizarse en febrero. Esta actuación, más que una siega sería un clareo, para retirar las partes muertas de la planta tras el invierno. De esta forma la planta tiene tiempo para crecer asimilando los nutrientes del agua que luego serán retirados de la circulación, antes del periodo de nidificación de las aves. Realizando esta actuación en esta época del año permitiremos la cría posterior de las aves sin ser molestadas.

La biomasa cosechada se almacena en un área especialmente destinada a tal efecto: la era de secado.

Antes de determinar el destino y posible valorización de esta biomasa debe comprobarse la ausencia de metales pesados en su composición. En caso de estar presentes se tratará como residuo peligroso y será trasladado a un vertedero controlado. En el caso de que no se presente ese problema tenemos diferentes alternativas:

- Reutilización de la biomasa para recrecimiento de zonas carentes de tierra vegetal.
- Alimentación de central de biomasa

Seguimiento de indicadores

En los filtros se toman diferentes muestras de agua para determinar la carga contaminante entrante y la capacidad depurativa de los humedales. Para ello se analizan muestras durante todo el recorrido del agua en el interior del filtro, comparando los parámetros de entrada con los de salida y realizando informes periódicos para evaluar la eficacia depurativa del sistema. Los parámetros analizados son:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto
- Temperatura
- Carbonatos
- Bicarbonatos
- Cloruros
- DQO total y soluble
- SST y SSV (Sólidos suspendidos totales y volátiles)
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Sílice inorgánica
- Pigmento Fotosintético Clorofila A

De estos datos y estudios son fundamentales los relativos a reducción de nitrógeno y fósforo total.

El seguimiento de la fauna residente en el filtro es de suma importancia ya que un exceso de aves puede suponer un consumo excesivo de materia vegetal y un aporte por medio de sus excrementos de nitrógeno y fósforo a las aguas, lo que supondría un desequilibrio en el funcionamiento del ciclo depurativo del filtro verde, ya que el fin principal de este filtro, es retirar del ciclo del agua el exceso de estos dos elementos.

Se realizan censos semanales que se recogen en dos informes anuales, coincidiendo con los pasos migratorios prenupciales y postnupciales de las aves. La realización de censos obedece a la necesidad de contar con indicadores de la calidad del ecosistema. Los resultados positivos obtenidos hasta la fecha ilustran la necesidad de construir nuevos filtros para la recreación de estos hábitats.

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor que los terrestres, por lo que los impactos (ej. la contaminación) inducen a cambios en (i) la estructura de las comunidades, (ii) la función biológica de los sistemas acuáticos y (iii) en el propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y condición reproductiva (Bartram y Ballance, 1996). Por este motivo, algunos organismos como los invertebrados acuáticos, pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981 in Vázquez, *et al.*). Es por esto que el estudio de estos organismos, es el que nos va a revelar si realmente el agua se está renaturalizando tras su paso por el filtro verde.

La comunidad animal ha sido muy poco estudiada hasta ahora, por lo que se puede suponer que el descubrimiento de nuevos ejemplares servirá para obtener futuros bioindicadores dentro del Parque Natural.

Otro indicador ambiental es el estudio de la vegetación. En el interior del Tancat se han introducido especies como *el Hydrocotyle vulgaris* y la *Kosteletzkyia pentacarpus* que requiere un informe periódico a la Conselleria debido a su catalogación de interés comunitario en el Anexo II de la Directiva 92/43/CEE.

Lecciones aprendidas

La gestión de un filtro verde como el del Tancat de Milia, dentro del Parque Natural de L'Albufera, conlleva la doble responsabilidad de gestionar una depuradora y una zona renaturalizada que usa la fauna como área de descanso y nidificación. Para ello hemos tenido que aprender a combinar los trabajos de mantenimiento de la instalación con los de la gestión de un espacio natural.

Enlaces

<http://www.tancatdemilia.org>

A MODO DE CONCLUSIONES

Como se ha visto, los diferentes proyectos y actuaciones en materia de restauración de humedales llevados a cabo por la Fundación Global Nature dependen en gran medida de las características de estos. No obstante en buena parte de los 88 humedales intervenidos desde 1993 hasta la actualidad, se puede identificar un plan de trabajo común con una clara metodología.

De la experiencia obtenida se llega a la conclusión de que la restauración de humedales es un proceso que no solo puede basarse en una intervención puntual, sino que debe incluir necesariamente acciones a largo plazo, entre ellas, una de las más relevantes es la implicación de las comunidades locales, para que esa restauración dé paso a una conservación dinámica.

El conjunto de proyectos llevados a cabo pusieron de manifiesto a políticos, alcaldes y población local que las zonas húmedas, lejos de ser un problema o una amenaza, son una excelente oportunidad para el desarrollo local.

La siguiente tabla muestra un resumen en datos de las actuaciones llevadas a cabo por la Fundación Global Nature en humedales españoles.

DATOS DE 20 AÑOS DE RESTAURACIÓN DE HUMEDALES	
Nº de humedales en los que se ha trabajado	88
Superficie total de actuación	2700
“Zonas de Especial Protección para las Aves”, “Lugares de Importancia Comunitaria” y “Humedales de Importancia Internacional”	10
Nº Hábitats de Interés Prioritario en los que se ha intervenido	5
Nº de Comunidades Autónomas en las que hemos trabajado	6
Nº Especies del Catálogo Español de Especies Amenazadas beneficiadas	18
Fondos destinados a la conservación de humedales en España	10.743.499 €
Nº Patrocinadores públicos	19
Nº Patrocinadores privados	23
Nº Reconocimientos a la labor de conservación de humedales de FGN	9
Nº de publicaciones sobre la conservación de humedales	10
Nº de materiales didácticos y/o divulgativos elaborados	28
Nº de destinatarios de actividades de educación ambiental en Humedales	20.000
Nº de empleos directos generados	38
Nº de empleos indirectos generados	23
Nº de encuentros, conferencias y jornadas celebradas	11

Humedales artificiales: Estudios de caso

El humedal artificial Las Arenitas (Baja California, México): funcionamiento hidrológico-ecológico y su potencial lúdico

Jorge Ramírez-Hernández¹, Edgar Carrera-Villa²

Resumen: El humedal artificial Las Arenitas, utilizado para completar el tratamiento del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es uno de los humedales de mayor importancia ecológica del delta del Río Colorado por la presencia de flora y fauna, incluso de especies en peligro de extinción, así como por la relevancia que tiene la utilización de su efluente en una zona de escasas hídrica. Se estimó el balance hidrológico y tiempos de retención, encontrando que este último es 2.5 veces menor al de diseño pero puede ser mejorado construyendo penínsulas que provoquen un flujo pistón y un mayor recorrido. El balance de agua correspondiente al año hidrológico 2012-2013 mostró que la infiltración alcanza el 22% y la evaporación total el 10%, del flujo de entrada. Tanto los usos ecoturísticos potenciales del humedal, como el paisaje del agua en la región serán mejorados con el proyecto del Parque Metropolitano Las Arenitas.

Palabras clave: Humedal artificial, Las Arenitas, balance hidrológico, tiempos de residencia.

Abstract: The artificial wetland Las Arenitas, used to complete the treatment of the effluent from the wastewater treatment plant, is one of the most ecologically significant wetlands of the Colorado River delta because of its the flora and fauna, including endangered species extinction, as well as the relevance of the use of its effluent into a region with a high water scarcity. Water balance and retention times was estimated, finding the latter is 2.5 times less than the design retention time but can be improved by building peninsulas that causing piston-flow type and diminishing travel times. The water balance showed that water outputs were up to 22% and 10% of inputs for infiltration and total evaporation, respectively, for the hydrological year 2012-2013. Potential ecotourism uses and regional water landscape of the wetland will be improved with the Metropolitan Park of Las Arenitas project.

Keywords: Artificial wetland, Las Arenitas, hydrologic balance, residence time.

¹ Doctor en Ciencias Ambientales. Instituto de Ingeniería campus Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, email: jorger@uabc.edu.mx

² Estudiante de Maestría en Ingeniería. Instituto de Ingeniería campus Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, email: ing.edgarcarrera@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El uso de los humedales naturales para el tratamiento de las aguas residuales, es un concepto bastante antiguo, incluso algunas civilizaciones como la china y la egipcia utilizaron humedales naturales para disponer en ellos sus aguas residuales durante años (Mitsch y Gosselink, 1993); estos autores apuntan que, de hecho, la mayoría de las aguas residuales en el mundo son dispuestas en humedales, ya sea de manera directa o indirecta (*ibidem*). El tratamiento de aguas negras utilizando humedales artificiales es una medida que se ha venido desarrollando en los últimos 60 años. No obstante, la tecnología para la construcción de humedales artificiales superficiales a cielo abierto se difundió fuera de los Estados Unidos, Australia y Europa con mayor intensidad a partir de la década de los 90 (Vymazal, 2010).

El conocimiento de esta tecnología de depuración ha venido tomando cada vez más importancia, ya que además de ser barata, en algunas zonas es la única solución disponible para el tratamiento de las aguas residuales, (Knight *et al.*, 2000). En el caso que nos ocupa, el humedal artificial de “Las Arenitas”, aunque se construye para que el agua previamente depurada de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) alcance la calidad requerida para poder ser descargada a un cuerpo de agua nacional, permitió establecer un humedal de importante valor ecológico.

Las 98 ha del humedal artificial Las Arenitas, entre lagunas y sus penínsulas bordeadas por tulares, constituyen un hábitat para aves migratorias y locales así como mamíferos pequeños y reptiles que “compensan”, aunque sea en una pequeña proporción, las 780,000 ha. de humedales que constituían el delta del Río Colorado hace menos de 150 años, (Sykes, 1937).

Así mismo, la creación de un espacio con la presencia de alrededor de 103 especies diferentes de aves y más 12000 aves, senderos ecoturísticos y vías para paseos en bicicleta está siendo valorada y usada por los residentes del Municipio de Mexicali cada vez con mayor frecuencia. Mencionar que aunque los esfuerzos del Gobierno del Estado por promover su uso ecoturístico y la difusión del mismo no han sido tan intensivas como se desea, la creación del Parque Metropolitano “Las Arenitas” impulsará su uso lúdico, contando con senderos interpretativos, jardín botánico, torres de observación de aves, promoción para la cultura del agua, muelle, módulo informativo, un área de estacionamiento, entre otros servicios.

EL AGUA RESIDUAL EN LA CIUDAD DE MEXICALI

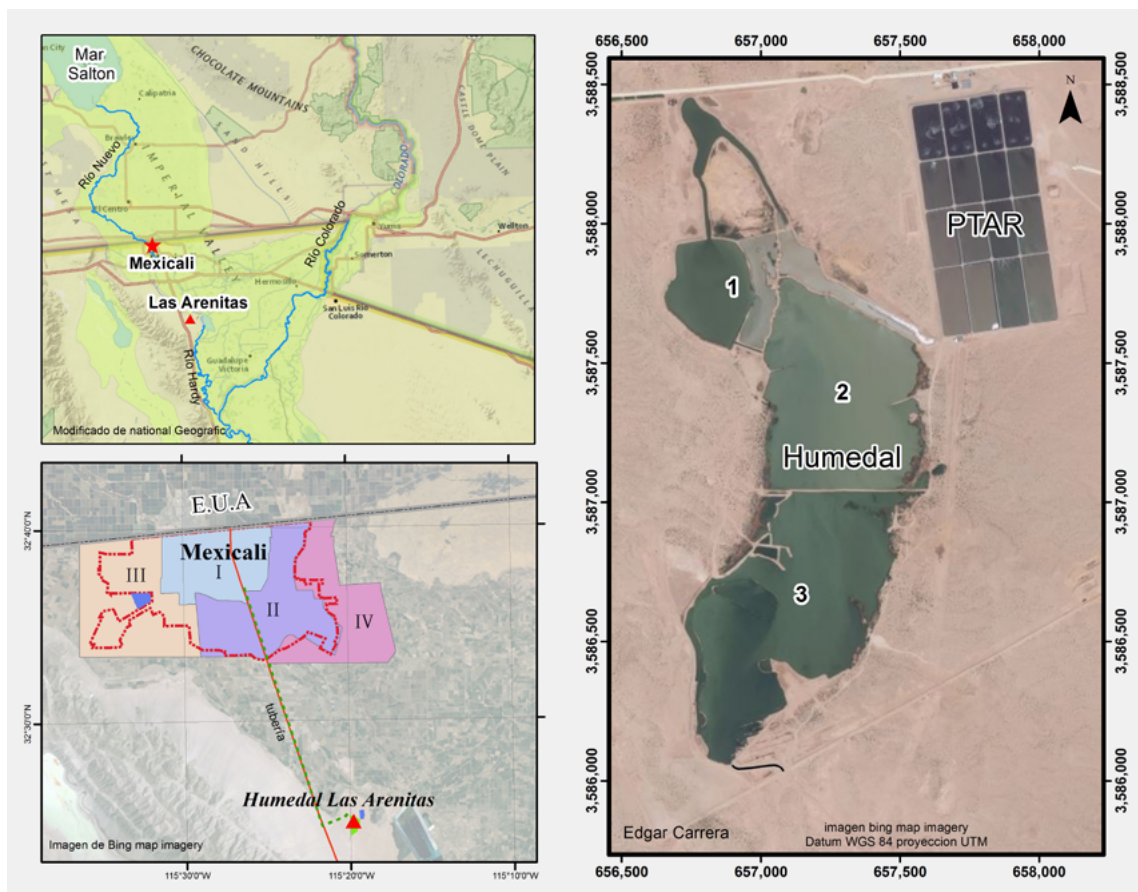
Desde su fundación, la ciudad de Mexicali se deshizo de sus aguas negras vertiéndolas en el cauce del Río Nuevo (RN) [Figura 1]. Este río nace al suroeste de la ciudad de Mexicali, fluyendo 32.18 km sobre territorio mexicano y captando aguas tanto de origen urbano e industrial –depuradas y no depuradas– como de drenaje agrícola de la porción Noroeste del Valle de Mexicali. El RN discurre en dirección norte prácticamente por el centro de la ciudad de Mexicali. Al entrar a la ciudad de Mexicali y hasta 100 m antes de la frontera con los EUA el RN fue entubado rescatando la superficie de las terrazas bajas y el lecho del río para la construcción de la vía rápida Río Nuevo y

diferentes edificios públicos. El RN cruza la frontera con un gasto aproximado de $5.66 \text{ m}^3/\text{s}$ y descarga sus aguas en el Mar del Salton (MS), en territorio norteamericano.

Hasta antes de la construcción de la PTAR Las Arenitas se contaba únicamente con la PTAR Zaragoza con una capacidad instalada de 1300 L/s , que depura agua recolecta fundamentalmente en el sector Mexicali I, el más antiguo de la ciudad. Del volumen recuperado una pequeña parte se reusa y el resto se vierte al RN. Los demás sectores fueron desarrollándose más tarde y vertían sus aguas al sistema de canales de drenaje agrícola remanente dentro de la ciudad para finalmente depositarlo en cauce del RN sin depuración alguna.

Durante la década de los 1990, la muerte de miles de aves y peces en el MS alertó a las autoridades norteamericanas sobre la gran cantidad de contaminantes que diariamente son vertidos en el MS (Roman-Calleros y Ramírez-Hernández, 2003).

Fig. 1: Ubicación del humedal artificial Las Arenitas.



Con el propósito de disminuir la cantidad de contaminantes que diariamente eran vertidos al cauce del RN, las autoridades ambientales de México y de los Estados Unidos acordaron a través del Acta 294 de la Comisión Internacional de Límites y de Aguas (CILA),³ la ejecución del Proyecto Integral de Saneamiento para Mexicali, que incluyó la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con fondos del Banco de Desarrollo de América del Norte (Quintero-Núñez *et al.*, 2006). Esta colaboración entre Estados Unidos y México para mejorar la infraestructura de manejo del agua residual se inició en 1995 a través de diversos proyectos (EPA, 2005); en concreto permitiría a la ciudad de Mexicali depurar con una mejor tecnología y, por ende, con mayor eficacia y eficiencia, sus aguas residuales; a la vez que se deriva una parte del volumen de agua residual generada a la cuenca del Río Hardy.

Para disminuir el volumen de agua residual vertida al RN se propuso, por un lado, mejorar el sistema de recolección de los sectores Mexicali I y III; y por otro, que el sector de recolección de agua residual Mexicali II y posteriormente inclusive Mexicali IV fuera tratado en una PTAR localizada 26 km al sur de la ciudad de Mexicali, en la cuenca del Río Hardy, (ver recuadro inferior izquierdo de la figura 1 de este capítulo para ubicación). Con esto prácticamente, se dividirían en partes iguales las descargas de aguas residuales tratadas a ambos ríos. La EPA (2005) propuso que la disminución de 600 L/s de aguas no tratadas vertidas al RN traería beneficios ambientales diversos, entre otros: reducir la mayoría de los patógenos; reducir en torno al 45% la demanda biológica de oxígeno (DBO) y un 65% los sólidos suspendidos totales (SST). Para lograr esto habría que bombear el agua residual recolectada hasta la cuenca de escurrimiento del Río Hardy (RH), cuya descarga se dirige en dirección Sur, con destino final el Golfo de California.

Se evaluaron varios sitios y finalmente a principios del 2005, se iniciaron los trabajos de construcción de la PTAR, en un predio ubicado al Sur de la ciudad en el costado Oeste del Cerro Prieto, conocido como Las Arenitas, propiedad ejidal y que hasta ese momento permanecía baldío.

La primera etapa del proyecto establecía que la PTAR debería tener la capacidad para tratar 880 L/s a la cual seguirían dos etapas más, con una capacidad de 220 L/s cada una, las cuales deberían estar funcionando para el año 2014 alcanzando una capacidad total de 1340 L/s (Sistemas de Ingeniería, 2003) con un sistema de tratamiento a base de lagunas de oxidación. En principio se pensó que el efluente de la planta podría ser reusado mediante el intercambio de derechos de aguas residuales tratadas por agua de riego con los agricultores de los módulos 12 y 18 fortaleciendo la disponibilidad del agua requerida para el servicio público urbano, (Osuna-Millan, 2008). En el año 2011, todo el sistema en la ciudad de Mexicali recolectó un total de 56.29 hm³ (1780 L/s) de los cuales se depuraron el 90%, (CEA, 2012).

Desde 1999, las principales actividades llevadas a cabo en la Región del Río Hardy son agrícola, turística y pesquera, y entre los diferentes usuarios se pueden contar a miembros de la comunidad indígena Cucapah y habitantes de la zona se habían

³Las Actas firmadas por la CILA y su contraparte la International Boundary and Water Commission en Estados Unidos complementan el Tratado Internacional de Límites y Aguas firmado entre México y Estados Unidos en 1944.

agrupado en la Asociación Ecológica de Usuarios del Río Hardy-Colorado, A.C. (AEURHYC); así mismo y en conjunto con organizaciones de la sociedad civil Pronatura Noroeste y Sonoran Institute, estas instituciones habían iniciado la restauración del Río Hardy y su confluencia con el Río Colorado.

En el 2007 y después de una intensa negociación entre el gobierno del Estado de Baja California, la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) y CONAGUA con la AEURHYC y Pronatura Noroeste que el 30% del efluente de la PTAR las Arenitas, sería descargado al Río Hardy y a la zona sur del Río Colorado (Poder Ejecutivo del Estado de Baja California, 2007). Para 2009, el informe del Gobernador del Estado de Baja California reportó que se habían destinado el 25% del efluente durante ese año (Osuna-Millan, 2009). El 70% del volumen restante de la descarga sería vendida para su reuso en actividades agrícolas en zonas cercanas al humedal, dado que algunos de estos agricultores no pueden recibir agua del sistema de canales del Distrito de Riego 014 por que sus parcelas están más altas de la cota de los canales.

La PTAR, comenzó a operar en el año 2007 y fue certificada para que descargara su efluente a un canal de drenaje agrícola que, posteriormente se une con el Río Hardy, para lo cual tenía que cumplir con la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1997) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales en México.

La evaluación de la calidad del efluente mostró que estaba por debajo de los límites establecidos en la NOM-001, sin embargo el uso para actividades acuáticas, aguas abajo del Río Hardy, requería cumplir con la NOM-003 SEMARNAT-1996,⁴ por lo que no debía ser descargada. Las descargas de esta agua fuera de la NOM-003, provocó inconformidades de AEURHYC manifestándose en contra de la operación de la PTAR, demandando a la CESPM por el vertido de estas aguas con coloración y olor desagradable. La necesidad de optimizar el proceso de depuración que se le estaba dando al agua trajo a la mesa de discusión la creación de un humedal artificial para que, después de un tiempo razonable de residencia, el efluente de la PTAR, alcanzara la calidad requerida por la NOM-003.

La CESPM como responsable de la operación de la PTAR, en colaboración con el Sonoran Institute y Pronatura Noroeste, diseñó y construyó un humedal artificial aprovechando la topografía del terreno natural adyacente a la PTAR, con el fin de complementar el tratamiento del efluente. Con la explicación anterior, queda claro que la construcción del humedal artificial Las Arenitas fue resultado de la necesidad de proporcionar mayor calidad al efluente y que no se había considerado antes la necesidad de crear un espacio de esta magnitud ni proporcionar los servicios ambientales que actualmente ofrece. Dada la premura de satisfacer la calidad del efluente para evitar sanciones por descargas fuera de norma, la primera fase de la construcción del humedal fue únicamente la construcción de bordos que almacenaran aquel. El diseño original incluía la creación de una superficie de 97 ha que alcanzara un tiempo

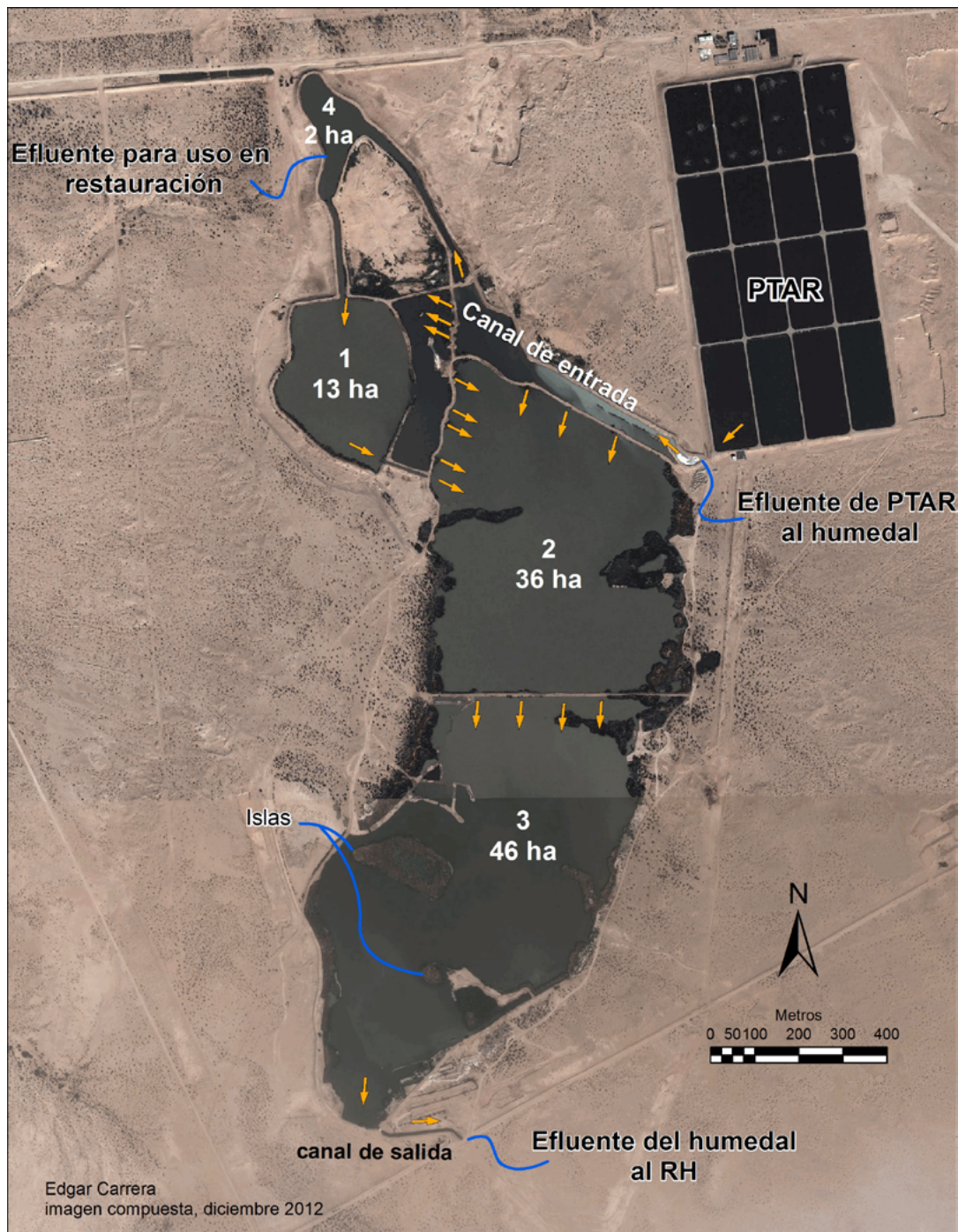
⁴ Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Los valores mencionados consideran como reuso en servicios al público con contacto directo.

de residencia de 13.4 días, con el propósito de abatir los SST y la DBO a 20 y 20 mg/L, respectivamente, de acuerdo a la NOM-003 (Sonoran Institute, 2009).

El diseño del humedal está completamente descrito en el reporte elaborado por Sonoran Institute (2009) y consiste primordialmente de 3 grandes celdas que deben funcionar en serie para alcanzar los tiempos de residencia requeridos y en paralelo para brindar mayor flexibilidad en su mantenimiento (Figura 2). Para alcanzar el diseño propuesto se requirió: 1) reconstrucción de bordos para formar las tres grandes celdas; 2) instalación de estructuras hidráulicas de comunicación entre celdas; 3) construcción de islas y penínsulas forestadas con tule para conducir el flujo del agua en cada celda. Este último diseño se ha venido realizando en etapas condicionadas por la disponibilidad de los recursos y la calidad de su efluente.

El funcionamiento del humedal las Arenitas, como se muestra en la figura 2, generalmente se da en los siguientes términos, el efluente de la PTAR es descargado en el canal de entrada, posteriormente se dirige hacia el norte alcanzando la celda 4 desde donde se dirige a la celda 1 por un canal abierto. La celda 1 posee compuertas que la comunican con la celda 2 y un canal abierto en el costado sur de la misma por el que pasa parte del caudal de entrada. La celda 2 dirige el agua prácticamente en dirección sur hasta alcanzar el bordo que la divide de la celda 3. La comunicación entre ambas celdas es a través de 4 compuertas puntuales. El flujo recorre la celda 3 hasta llegar a una alcantarilla de salida, que controla la descarga del efluente. Después de la alcantarilla el afluente del humedal, es conducido 200 m por un canal de tierra, y después entubado y enterrado para recorrer, ya por gravedad, 6 km hasta la derivación donde se toma una parte del efluente, no más del 70%, para las tierras cultivo. La descarga final se realiza al Dren agrícola Dos-Tubos para fluir hacia al RH y posteriormente al RC.

Fig. 2: Funcionamiento hidráulico del humedal Las Arenitas.



PROBLEMÁTICA HIDRÁULICA ACTUAL

En la Figura 3 se muestra el estado actual del humedal: como se puede observar aún no se ha completado la construcción de penínsulas de tule y el funcionamiento hidráulico no ha sido, hasta este momento, el que resultó del diseño inicial; no obstante, la mayor parte del tiempo se alcanza el cumplimiento de la NOM-003. Dos elementos han incidido de forma importante en el funcionamiento hidráulico y con ello el proceso de depuración. Uno está relacionado con la generación de flujos preferenciales (flujos cortocircuito) con poca amplitud que reducen sustancialmente los tiempos de residencia y la generación de zonas de estancamiento: ambas manifestaciones pueden observarse en la Figura 3 identificando zonas de las celdas con agua de diferente coloración (diferentes tonalidades de azul), esto sugiere que la concentración de materia orgánica disuelta es diferente para cada una de ellas; característica que nos permite registrar, a priori, los patrones, velocidades de flujo y distribución de los tiempos de retención (Mariot *et al.*, 2007).

Fig. 3: Vista aérea del humedal y PTAR Las Arenitas desde el noreste. Al fondo se observa la sierra Cucapah y los sedimentos de pie de monte. Es clara la situación de escasa vegetación y el ambiente desértico de la zona.



Archivo personal Zamora-Arroyo [2012].

El otro, está asociado a que las compuertas de comunicación entre celdas son puntuales, favoreciendo la creación de estos flujos de corriente preferencial e imposibilitando la formación de un flujo pistón, base del análisis hidráulico de cualquier humedal (Kadlec y Wallace, 2009). Este segundo elemento es agravado por no haberse concluido la construcción de las penínsulas que permiten dirigir el flujo y potenciar la formación del flujo pistón.

El estado de construcción actual del humedal Las Arenitas impide que funcione correctamente el sistema de tratamiento, mostrando deficiencias en el régimen hidrodinámico dentro de cada celda. Esta bien documentado que el aumento de los tiempos de retención en un humedal disminuye notablemente la eficiencia en el tratamiento del agua, (Wörman y Kronnäs, 2005, Kadlec y Wallace, 2009, Persson y Wittgren, 2003).

BALANCE HIDROLÓGICO

El régimen de circulación del agua es uno de los factores más importantes para garantizar el buen funcionamiento de los humedales construidos, pues determina el proceso de depuración del agua, la fluctuación de los niveles hídricos, los tiempos de residencia y la capacidad de almacenamiento del humedal (Mitsch y Gosselink, 1993). El método estándar para determinar el régimen hidrológico de un humedal es el balance de agua o balance hidrológico, entendiendo por este la diferencia neta entre el caudal de entrada y de salida de agua del humedal y el cambio en el volumen de agua habido en el almacenamiento. En este balance juegan un papel importante algunos otros procesos de salida o entrada de agua, tales como la precipitación, la evapotranspiración y la infiltración (Persson y Wittgren, 2003, Zhang y Mitsch, 2005, Gusyev y Haitjema, 2011).

Con el objeto de conocer la capacidad del humedal para depurar el agua, tal como se encuentra actualmente, fue necesario determinar los tiempos de retención y su relación con la calidad del efluente a partir de un balance hidrológico mensual. Este balance se realizó durante un año hidrológico (junio de 2012 a junio de 2013) para incluir los cambios estacionales, fundamentalmente los relacionados con las altas temperaturas imperantes durante el verano y los cambios en el caudal de entrada por variaciones mensuales en la demanda de agua. El año hidrológico citado puede ser considerado como representativo de las condiciones las hidrológicas durante un año típico de operación, ya que no se presentaron contingencias naturales (como el sismo del 4 de abril del 2010), ni cambios en los caudales recibidos por operación del sistema de recolección de aguas residuales o fallas en el bombeo como ha sucedido en años anteriores.

El balance se acotó a los tres principales cuerpos de agua (celdas), de norte a sur las celdas unos, dos y tres, cuyo volumen embalsado alcanza el 97 % del volumen total del humedal. Aunque la profundidad de cada una de las celdas es variable, la profundidad promedio en estas tres celdas es 1.3 m, alcanzando profundidades máximas de 4.5 m y mínimas de 0.9 m. El ancho promedio de las celdas es de 300 m, que pueden llegar en algunos casos hasta secciones transversales de 600 m, la longitud promedio de cada una de las tres es de 500 m.

Como se observa en el recuadro derecho de la Figura 1, las celdas están divididas por bordos de tierra con una ancho promedio en su parte superior de 8 m, poseyendo cada uno de los bordos un diferente número de compuertas para poder controlar el flujo entre celdas. Estas compuertas hidráulicas se arman sobre ductos de 48 pulgadas (1.219 m), que son operadas para modificar (aumentar o disminuir) el intercambio de agua de una celda a otra, o bien, bloquear totalmente este. La operación de estas compuertas determina el nivel del espejo del agua entre cada una de las celdas

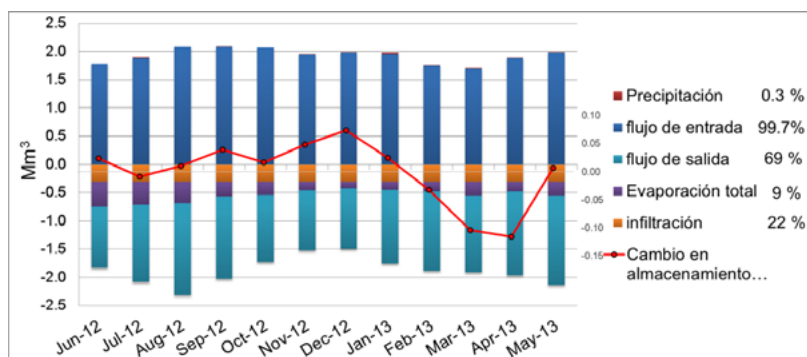
(almacenamiento de agua), pero su principal objetivo es manipular los tiempos de retención de agua entre celdas y, finalmente, en todo el humedal.

El balance hidrológico obtenido en el humedal se obtuvo utilizando la ecuación de balance hídrico (Kadlec y Wallace, 2009) en la que los caudales de agua de entrada deben ser iguales a los caudales de salida menos los cambios en el almacenamiento del humedal.

$$Q_i - Q_o + Q_c - Q_{gw} + (P * A) - (ET * A) = \frac{dV}{dt}$$

Se consideran caudales de entrada al efluente de la PTAR Las Arenitas por el canal principal. El caudal de entrada (Q_i) fue estimado por el método velocidad-sección utilizando un medidor de flujo medidor portable marca Marsh-McBirney Modelo Flo-Mate 2000, en el canal de descarga. A su vez, se consideró la precipitación en el humedal ($P*A$) y su escurrimiento superficial hacia el humedal (Q_c), mediante mediciones pluviométricas horarias en sus inmediaciones. La cuenca de escurrimiento fue estimada con base en un levantamiento topográfico. Por su parte, los caudales de agua de salida considerados fueron: La evapotranspiración de la vegetación en los bordes del humedal, la evaporación directa de las lagunas ($ET*A$), calculada a partir de datos climatológicos horarios por el método modificado de Penman-Monteith simplificada por el *American Society of Civil Engineers*, (EWRI, 2005), y; el afluente de agua en el canal de salida (Q_o) con la misma metodología que el caudal de entrada. Las salidas por infiltración fueron consideradas como incógnitas en la ecuación de balance (Q_{gw}). A su vez, los cambios en el almacenamiento (dV/dt) se calcularon con base en mediciones directas de los cambios de elevación del nivel del espejo de agua, mediante mediciones manuales en regletas graduadas y con medidores de variación de la presión hidrostática marca YSI 600 LS ubicados en las lagunas 1, 2 y 3. Aunque las estimaciones de la evapotranspiración, evaporación directa, las variaciones del nivel de agua de las lagunas se hicieron de forma horaria, el análisis se presenta en períodos mensuales. En la Figura 4 se muestra la magnitud relativa de cada término del balance hídrico mensual, para fines de presentación de los resultados se presentan con valores positivos los volúmenes de entrada y negativos los de salida.

Fig. 4: Balance hidrológico para el humedal Las Arenitas. Valores positivos indican caudales de entrada al humedal, negativos caudales de salida en miles de metros cúbicos.



En promedio el 99.7% del agua que ingresa al humedal son aguas residuales de la PTAR, mientras que la precipitación es prácticamente nula, alcanzando el 0.3% del agua ingresada anual. Durante el año analizado se registraron 61 mm de precipitación total, con 18 mm durante el mes de julio del 2012; 9 y 27 mm en los meses de diciembre y enero del 2012 y 2013, respectivamente. Dado que este volumen precipitado no generó escorrentía superficial en el área de captación del humedal por la alta tasa de infiltración de los suelos, por la baja precipitación y por los bordos de contención alrededor del humedal, el término de escorrentía (Q_c) se considera igual a cero.

El 69%, en promedio, del agua de salida anual del humedal fue el afluente superficial, encontrando valores promedio de 498 L/s, con máximo de 659 L/s y un mínimo de 408 L/s. la evaporación total representa el 9% de las pérdidas. Las pérdidas por infiltración constituyen en promedio el 22% y fueron obtenidas por diferencia en la ecuación de balance, como se comentó antes. Las variaciones mensuales de la infiltración se asocian al aumento en el tirante de agua en las celdas durante los meses de invierno. Las muy pequeñas variaciones observadas de la conductividad eléctrica entre el agua de entrada y salida del humedal confirman que la infiltración es mucho más significativa que la evaporación (Kadlec, *et al.* 2010).

La formación de flujos preferentes en cada una de las celdas por la descarga puntual (a través de compuertas tubulares) y la falta de barreras (islas o penínsulas), que redirijan el movimiento del agua hacia un flujo pistón, disminuye sustancialmente el volumen de agua movilizado, creando zonas de flujo nulo (estancamiento) y flujos preferenciales de mayor velocidad y menos sección transversal. El tiempo de retención hidráulica de diseño se calculó considerando los cálculos globales de tiempos de residencia obtenidas al dividir el volumen total del humedal entre el caudal promedio, (Kadlec y Wallace, 2009).

Dado que no todo el humedal está contribuyendo al flujo del agua del mismo, se procedió a definir rutas preferenciales de flujo y secciones transversales, a las cuales se les considera volúmenes de agua activos, identificados –a través de visitas de campo– por cambios en la tonalidad del agua. Con la dirección de flujo se estimó la distancia recorrida, que multiplicada por la sección de flujo permitió obtener el volumen de agua “activo”, el cual se utilizó para estimar los tiempos de residencia. En la tabla 1 se muestran los tiempos de residencia globales y los estimados en este documento.

Por otro lado, el tiempo de retención de diseño se obtuvo considerando un flujo promedio de 814 L/s, considerando que el gasto medido en el afluente es de 880 L/s y de 749 L/s en el efluente. El gasto promedio afluente reportado por la CESPMP de 2009 a 2012 fue de 759 L/s y el efluente fue de 723 L/s, con lo cual el gasto promedio durante estos últimos cuatro años es de 741 L/s.

Tabla 1: Tiempos de retención de diseño y los estimados en este trabajo.

Celda	Área (ha)	Volumen agua total (m ³)	Volumen activo actual (m ³)	Tiempo de retención (días)	
				diseño	Estimado
1	13.21	150,263	39,000	2.14	0.61
2	34.11	358,155	140,940	5.09	2.20
3	50.31	440,212	159,300	6.25	2.49
total		948,630	339,240	13.48	5.30

La reducción del tiempo de residencia (tabla 1) indica que es preciso mejorar el funcionamiento hidráulico del humedal mediante la aplicación de las medidas que se enumeran a continuación. La primera, es concluir la construcción de las penínsulas de tule para dirigir el flujo a lo largo de canales de conducción con menor sección transversal que potencien la generación de un flujo pistón. La segunda, no menos importante, es cambiar las compuertas de descarga y comunicación entre celdas sustituyéndolas por unas del tipo vertedor cuya superficie de descarga tenga una longitud entre 5 y 10 m de largo. Sin embargo, y a pesar de la reducción en los tiempos de residencia, la calidad del agua del humedal sigue cumpliendo con la NOM-003, como indica la CESPM en sus reportes mensuales.

NUEVO HÁBITAT “NATURAL”

Más allá de la depuración del agua que realiza el humedal para su descarga y reutilización posterior, el humedal juega un papel definitivo en la generación de un nuevo hábitat lagunar abierto en un entorno completamente árido, como se observa de la figura 3, considerando las condiciones ambientales de un clima seco, de muy cálido a cálido, con lluvias –siempre escasas– en verano e inviernos escasas, del tipo BW(h') hw (x') (García, 1981), con temperatura máxima promedio es de 39.2 °C y con posibles heladas durante los meses de noviembre a febrero (Servicios de Ingeniería e Informática S.C., 2003). Contextualizado este cuerpo de agua en una situación de extrema competencia regional por el recurso agua, con un déficit de disponibilidad creciente (Getches, 2003) y la desaparición de humedales por la sobreexplotación de las aguas subterráneas con el consecuente abatimiento del nivel freático (Peregrina-Llanes, 2009, Ramírez-Hernández, 1997); a ello se suma la necesidad de crear o al menos mantener cuerpos de agua que permitan el refugio, descanso y alimentación de las aves migratorias por la ruta del Pacífico, en el contexto regional, capaces de generar hábitats de plantas acuáticas con especial importancia del tule (Zamora-Arroyo *et al.*, 2005).

El humedal Artificial de Las Arenitas, se convirtió rápidamente en un hábitat envidiable para diversas especies de aves al trasplantar y establecer 6 ha. de tule (*Scirpus californicus*) en los bordes, islas y penínsulas; recolectado de la Ciénega de Santa Clara, un humedal costero en el mismo Delta del Río Colorado. Aunque el propósito fundamental de establecer esta vegetación era mejorar la depuración del agua, reteniendo sólidos en suspensión y disminuyendo la concentración de DBO (Figura 5); se persiguió a la vez generar un hábitat de valor ecológico para las especies de aves que

ya se habían identificado en otros humedales del delta (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2001, Hinojosa-Huerta *et al.*, 2008).

La implementación de un programa de monitoreo permanente ha permitido la identificación de más de 103 especies diferentes de aves y un total de ejemplares del orden de 12.000 aves (Sonoran Institute, 2011). Durante los meses de invierno y primavera, se pueden encontrar en el humedal diversas especies de aves migratorias, que han identificado el humedal como un sitio seguro como estación de descanso y alimentación.

Fig. 5: Plantación de Tule dentro del Humedal, obsérvese en la margen de la celda tule y vegetación nativa ya establecida.



Archivo personal Zamora-Arroyo (2011).

También se ha identificado la presencia del palmoteador de yuma (*Rallus longirostris yumanensis*) clasificado como en peligro de extinción y cuyas necesidades de hábitat implican alta densidad de tule (Figura 6). Entre las especies de aves más abundantes cabe destacar a los zambullidores (*Podiceps nigricollis* y *Aechmophorus occidentalis*), cuatro especies de patos: cucharón, de collar, cabeza roja y monja (*Anas clypeata*, *Anas platyrhynchos*, *Aythya americana* y *Bucephala albeola*, respectivamente); también fueron identificadas las gallaretas (*Fulica americana*) junto con 5 aves playeras (Sonoran Institute, 2009). Inclusive algunas aves playeras como la colocha (*Charadrius vociferus*) han hecho del humedal su morada permanente; reproduciéndose y naciendo las mismas durante la primavera, pasando ahí los primeros meses del verano.

Fig. 6: Izquierda. Palmoteador de Yuma entre el tular plantado, foto por F. Fonseca. Derecha. Pato Cucharón nadando en el humedal Las Arenitas.



Archivo de Sonoran Institute (2012).

El humedal no tiene vegetación acuática ni flotante, pero la proliferación de algas es abundante, terminando por darle al agua del humedal –al menos en su porción final– características físicas particulares, como el color y olor. Aunque no se ha forzado la introducción de vegetación flotante se analiza hacerlo en un futuro más o menos cercano.

Al año 2012 la superficie sembrada con vegetación nativa en las márgenes del humedal instalado en el desierto sonorense alcanzaba las 4 acres, con árboles como el mezquite tornillo (*Prosopis pubescens*), palo fierro (*Olneya tesota*), sauce (*salix pendula*) y álamo (*populus fremontii*), además de arbusto de mediana altura como la Gobernadora (*Larrea tridentata*) y la Cachanilla (*Pluchea sericea*), (Sonoran Institute, 2011).

A la par coexisten con la fauna característica del desierto, serpientes de cascabel (*Crotalus basiliscus*), zorras (*Vulpes velox*), coyotes (*Canis Latrans*), perritos de la pradera (*Cynomys mexicanus*) e insectos –como escarabajos de cementerio (*Blaps mortisaga*)–, entre otros. El monitoreo realizado en el 2010 en seis zonas dentro del Delta identificó el mayor número de organismos del Camaleón del Gran desierto (*Phrynosoma mcallii*), una lagartija cornuda de cola plana o falso camaleón cola plana, sujeto a protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Pronatura Noroeste y RBA-GCDRC, 2012). Asimismo el agua del humedal propicia la población de insectos como el mosquito, que en verano llega a ser abundante, o la pulga de agua (*Cladóceros daphniidae*) conocida como *dafnia* que se ha observado en los últimos veranos teñir el agua de color rojizo.

INCIPIENTES USOS LÚDICOS DEL HUMEDAL

La creación de casi 100 ha de hábitat para aves con el humedal de Las Arenitas, en una región semidesértica, introduce sin duda alguna en el territorio un valor ecológico muy importante. Sumando a lo anterior la restauración del hábitat del Río Hardy con la descarga del 30% del agua tratada en la PTAR de Las Arenitas.

El gobierno del Estado de Baja California no ha podido dar a conocer a los pobladores del municipio de Mexicali el valor de este humedal y los servicios ecológicos que proporciona, así como su potencial de usos lúdicos.

Los esfuerzos individuales de algunas organizaciones de la sociedad civil como Sonoran Institute y Pronatura Noroeste, algunas veces apoyados por la Secretaría de Protección al Ambiente, la CESP, la Secretaría de Turismo del Estado de Baja California y en mucho menor medida la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), han promovido la visita para recorridos ecoturísticos de la zona. Estos recorridos consisten básicamente en visitar un espacio temático en el borde Este del humedal y una ruta de bicicletas de 8 km que permite recorrer perimetralmente el humedal, con la oportunidad de tener una vista panorámica del sitio.

Al inicio del recorrido se da una breve explicación de los antecedentes de la construcción del humedal y se dan algunos datos generales sobre el tamaño, la cantidad de agua que entra y sale, así como de los niveles de calidad de agua que se obtienen a la salida del humedal. Se hace especial énfasis en los tipos y cantidades de aves, pequeños mamíferos y reptiles que están utilizando el humedal. Se les instruye sobre los nombres de las aves que se pueden visualizar desde el sitio y se les indican cuales son los nombres de las aves que hacen los sonidos más intensos o que se perciben con mayor facilidad. Esta breve explicación termina con la reseña de los servicios ambientales que les provee el humedal a los habitantes del Valle de Mexicali; cabe hacer notar que el nivel de la explicación se lleva a cabo según el nivel de preparación y la edad del grupo visitante (Figura 7).

No obstante, aunque, al inicio de la construcción del humedal se propuso a la UABC la formulación de un plan de desarrollo recreativo que permitiera hacer un uso más intensivo del sitio y que se configurara como un espacio verde para los pobladores del Valle de Mexicali (Baeza-Herrera y Vilchis-Ceron, 2005), el proyecto nunca fue ejecutado. Sin embargo, entre los planes a futuro de uso del humedal, se plantea la construcción del Parque Metropolitano "Las Arenitas" que contará con elementos de identificación, senderos interpretativos con información sobre la flora y fauna, con un umbral de acceso, jardín botánico, torres de observación de aves, promoción para la cultura del agua, muelle, módulo informativo, un área de estacionamiento, entre otros servicios (Schorr y Duarte, 2006), no obstante, las actividades recreativas llevadas a cabo en la zona del humedal se recomienda que se realicen evitando el contacto con el agua del humedal y definitivamente no se recomiendan las acuáticas, que impliquen contacto directo inclusive el no intencional. El último estudio realizado por el Sonoran Institute en el 2011 para la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) muestra que la cantidad de huevos de helminto supera la Norma Oficial Mexicana 003.

Fig. 7: Paseo ciclista y explicación de las aves presentes en el humedal de las Arenitas como festejo del Día Mundial de los Humedales 2013.



Archivo del portal Save the Colorado River Delta.

CONCLUSIONES

La creación de un humedal artificial con una superficie cercana a las 100 ha. que provee un hábitat a cientos de especies de aves en el delta del Río Colorado cuyos recursos hídricos están intensamente demandados, tanto por el crecimiento mismo de la demanda, como la disminución de la disponibilidad, ante la intensa sequía que viene asolando la cuenca del Río Colorado, ha demostrado ser un activo ecológico con un interesante potencial de usos lúdicos, entre los que se encuentra la práctica del ecoturismo a través de la realización de actividades como recorridos guiados y observación de aves.

La plantación de tule en los bordes y en las islas y penínsulas ofrecerá una mayor área de hábitat para especies de vida silvestre, como ya está confirmado con la presencia de especies de aves en peligro de extinción –como es el caso del Palmoteador de Yuma–, así como la utilización de este cuerpo de agua como estación de paso para las aves migratorias de la ruta del Pacífico.

El balance hidrológico mostró que la pérdida de agua por infiltración alcanza el 22% del total del flujo de las entradas; sin embargo, como esta resulta relativamente constante, la evaporación total es la que controla la variabilidad en los niveles del agua dentro del humedal. El cambio en el almacenamiento refleja que el rango de variabilidad en el humedal es estrecho y responde rápidamente a los cambios estacionales, principalmente a las altas temperaturas de verano. El funcionamiento hidrológico del humedal mostró ser 2.5 veces menor al de diseño pudiendo ser profundamente mejorado con la construcción de islas y penínsulas de tule que, además de dirigir el flujo hacia un modelo de tipo pistón, le proporciona una longitud mayor de recorrido y un mayor tiempo de residencia, así como la posibilidad de incrementar la depuración por la presencia de una más amplia superficie de tule. Una mayor depuración incidiría de forma directa en el uso lúdico del humedal y reduciría de forma notable los posibles riesgos sanitarios por contacto directo con sus aguas.

Este espacio de notable valor ecológico, deberá ser en el futuro mejor utilizado, al menos, por los residentes del Valle de Mexicali para lo cual es preciso que las autoridades estatales y municipales, hagan una mayor difusión a los servicios ambientales y sus posibilidades de turismo de naturaleza. La creación de un área recreativa y de observación de aves denominado Parque Metropolitano de Las Arenitas es un paso en la dirección correcta.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- BAEZA-HERRERA, O. y VILCHIS-CERON, M. A. (2005). Hacia una comunidad alternativa. XXVIII Encuentro RNIU. Dilemas de la Sociedad Fronteriza, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Universidad Autónoma de Juárez.
- CEA. (2012). *Informe Mensual de la CEA. Diciembre 2011* [Online]. <http://www.cea.gob.mx/indicadores.html> Comisión Estatal del Agua de Baja California. [Accessed 14 de Agosto 2013].
- EPA. 2005. U.S.- Mexico Collaboration on Wastewater Infrastructure Serving the City of Mexicali, Baja California. Environmental Protection Agency, Border Infrastructure Construction Program. [Accessed June 1, 2013].
- EWRI (2005). The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. *In: Evapotranspiration*, T. C. O. S. O. R. (ed.). U.S.A.: Environmental and Water Resources Institute, ASCE.
- GARCÍA, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Mexico, D.F.: Instituto de Geografía, UNAM.
- GETCHES, D. H. (2003). Water Management in the United States and the Fate of the Colorado River Delta in Mexico. *U.S.-Mexico Law Journal*, 11, 107-113.
- GUSYEV, M. A. y HAITJEMA, H. M. (2011). Modeling flow in wetlands and underlying aquifers using a discharge potential formulation. *Journal of Hydrology*, 408, 91-99.
- HINOJOSA-HUERTA, O., DESTEFANO, S. y SHAW, W. (2001). Distribution and abundance of the Yuma clapper rail (*Rallus longirostris yumanensis*) in the Colorado River delta, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 49, 171-182.
- HINOJOSA-HUERTA, O., ITURRIBARRIA-ROJAS, H., ZAMORA-HERNÁNDEZ, E. y CALVO-FONSECA, A. (2008). Densities, species richness and habitat relationships of the avian community in the Colorado River, Mexico. *Studies in Avian Biology*, 37, 74-82.
- KADLEC, R. H. y WALLACE, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*, Boca Raton, FL, CRC Press.
- KNIGHT, R. L., PAYNE Jr, V. W. E., BORER, R. E., CLARKE Jr, R. A. y PRIES, J. H. (2000). Constructed wetlands for livestock wastewater management. *Ecological Engineering*, 15, 41-55.
- MARIOT, M., DUDAL, Y., FURIAN, S., SAKAMOTO, A., VALLÈS, V., FORT, M. y BARBIERO, L. (2007). Dissolved organic matter fluorescence as a water-flow tracer in the tropical wetland of Pantanal of Nhecolândia, Brazil. *Science of The Total Environment*, 388, 184-193.
- MITSCHE, W. J. y GOSSELINK, J. G. (1993). *Wetlands*, New York, Van Nostra Reinhold.
- OSUNA-MILLAN, J. G. (2008). Informe de Gobierno del Estado de Baja California 2008. *In: Ejecutvivo*, P. (ed.). Mexicali, Baja California, México: Gob. de Baja California.
- 2009. Informe de Gobierno del Estado de Baja California (2009). *In: Ejecutvivo*, P. (ed.). Mexicali, Baja California, México: Edo. de Baja California.

- PEREGRINA-LLANES, M. (2009). *Caracterización hidrogeoquímica del flujo subterráneo hacia humedales en Mesa Arenosa de Andrade, Mexicali, Baja California*. Maestro en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- PERSSON, J. y WITTGREN, H. B. (2003). How hydrological and hydraulic conditions affect performance of ponds. *Ecological Engineering*, 21, 259-269.
- Poder Ejecutivo Del Estado De Baja California (2007). Convenio de Concertación para Establecer las Descargas del Efluente de la PTAR Las Arenitas al Río Hardy. In: California, P. E. D. G. D. E. D. B. (ed.). Ciudad de Mexicali, Baja California, México: Poder Ejecutivo del Gobierno del Estado de Baja California.
- Pronatura Noroeste y Rbagcdrc (2012). Plan de Manejo para la Conservación del Camaleón del Gran Desierto *Phrynosoma mcallii* (CGD). San Luis Río Colorado, Sonora: Pronatura Noroeste y Reserva de la Bisofera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.
- QUINTERO-NÚÑEZ, M., AHUMADA-VALDÉZ, S. E., AVILA-MONROY, E. I. y ROMERO-HERNÁNDEZ, M. S. (2006). Uso Eficiente del Binomio Agua-Energía en Mexicali. In: Ramírez Hernández, J. (ed.) *Una Visión de la Problemática Ambiental de Mexicali y su Valle*. Mexicali, Baja California, México: Editorial Universitaria, UABC.
- RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, J. (1997). *Estudio de las Relaciones Hidrogeológicas del Acuífero Superior del Valle de Mexicali con Aguas Geotérmicas Superficiales*. Ph. D., Universidad de Alcalá.
- ROMAN-CALLEROS, J. y RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, J. (2003). Interdependent Border Water Supply Issues: The Imperial and Mexicali Valleys. In: Michel, S. (ed.) *The U.S.-Mexican border environment: Binational water management planning*. San Diego, California: San Diego State University Press.
- SCHORR, W. M. y DUARTE, M. G. (2006). *Estudios Del Desierto*, Universidad Autónoma de Baja California.
- Semarnat (1997). NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Servicios De Ingeniería E Informática S.C. (2003). Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto: Saneamiento de Mexicali, Baja California. Mexicali, Baja California, México.
- Sistemas De Ingeniería (2003). Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto: Saneamiento de Mexicali, Baja California Modalidad Particular Sector Hidráulico. *Reporte Interno*.
- Sonoran Institute (2009). Reporte Interno. Diseño del Humedal Las Arenitas para alcanzar la NOM-003-SEMARNAT-97. *CESPM*. Mexicali, Baja California, México: Sonoran Institute.
- Sonoran Institute. (2011). Colorado River Delta Restoration. Las Arenitas Wetland.
- SYKES, G. (1937). *The Colorado Delta*, Washington, D.C.: Carnegie Institution.
- VYMAZAL, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience†. *Environmental Science & Technology*, 45, 61-69.
- WÖRMAN, A. y KRONNÄS, V. (2005). Effect of pond shape and vegetation heterogeneity on flow and treatment performance of constructed wetlands. *Journal of Hydrology*, 301, 123-138.
- ZAMORA-ARROYO, F., PITT, J., CORNELIUS, S., GLENN, E., HINOJOSA-HUERTA, O., MORENO, M., GARCÍA, J., NAGLER, P., DE LA GARZA, M. y PARRA, I. (2005). Conservation Priorities in the Colorado River Delta, Mexico and the United States. Tucson, Arizona, USA: Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste Dirección de Conservación Sonora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, and World Wildlife Fund—Gulf of California.
- ZHANG, L. y MITSCH, W. J. (2005). Modelling hydrological processes in created freshwater wetlands: an integrated system approach. *Environmental Modelling & Software*, 20, 935-946.

Implementación y evaluación de un sistema de tratamiento de agua residual natural a través de humedales construidos en el noroeste de México

Michelle Hallack Alegría¹, Juan Carlos Payan Ramos²,
Alejandro Mungaray Moctezuma³, Álvaro López Lambraño⁴,
Mario González Duran⁵, María Cristina Castañón Bautista⁶
y María Chávez Pérez-Banuet⁷

Resumen: Al noroeste de México, en el Estado de Baja California, se instaló un sistema de humedales construidos de tipo sub-superficial para el tratamiento parcial del agua residual del Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Baja California, como parte de un plan piloto para incentivar la aplicación de tecnologías alternativas a las plantas de tratamiento comerciales en comunidades rurales. El sistema consta de dos celdas, flujos vertical y horizontal, y es precedido por un tanque séptico y un sedimentador para disminuir sólidos y carga orgánica. Asimismo, utiliza plantas acuáticas y un medio filtrante para fijar y retener los contaminantes utilizando procesos naturales y un funcionamiento hidráulico por gravedad. Finalmente, las pruebas fisicoquímicas de calidad de agua realizadas por un laboratorio certificado, demuestran una alta eficiencia, 70%, de tratamiento en remoción del contaminante Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Palabras clave: Baja California, Humedal Construido, Flujo Sub-superficial.

¹ Doctora en Ciencias, área Ambiental. Facultad de Ingeniería, Mexicali. Universidad Autónoma de Baja California. mhallack@uabc.edu.mx.

² Maestro en Ingeniería.

³ Doctor en Ciencias.

⁴ Doctor en Ciencias.

⁵ Candidato a Doctor en Ingeniería.

⁶ Doctora en Ciencias.

⁷ Maestra en Planeamiento Urbano Regional

Abstract: Located in Northwest Mexico, in the State of Baja California, a sub-superficial flow constructed wetland system has been installed for partial wastewater treatment from the Engineering and Technology Center of the Autonomous University of Baja California. This project is a part of a pilot plan for applying alternative technologies to the regular wastewater treatment plants in order to be used in rural communities. The wetland system has to cells, vertical and horizontal flow, and it is preceded by a septic tank and a particle settlement cage for the purpose of reducing solids and organic matter. In addition, it utilizes aquatic plants and a filter media to retain contaminants through natural and hydraulic processes. Finally, water quality physicochemical characterization was carried out in a certified laboratory, which gave evidence of a 70% achievement in contaminant removal, particularly, Biochemical Oxygen Demand.

Keywords: Baja California, Constructed Wetland, Sub-superficial flow.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que forma parte del progreso de un país; es el compuesto químico vital más abundante del planeta (Romero-Aguilar, *et al.*, 2009); su reserva en el mundo está disminuyendo gradualmente debido a su contaminación a través de diversos medios, incluyendo mantos acuíferos, lo cual constituye un desequilibrio ambiental, económico y social (Romero-Aguilar, *et al.*, 2009).

En México, la problemática de la contaminación del agua ha forzado a la investigación de alternativas de solución económicamente viables (Durán de Bazua, 1994). A finales de 1982, el gobierno federal advirtió que las agencias centralizadas encargadas de la administración de los recursos hídricos no eran capaces de manejar todos los proyectos de saneamiento requeridos en el País (Pineda, 2002).

A nivel nacional se estima una cobertura de tratamiento de aguas residuales del 44.8%, equivalente a un caudal tratado de 93.6 m³/s; al año 2010 este caudal se procesaba en 2,186 plantas de tratamiento (CONAGUA, 2012). En el estado de Baja California, se cuenta con 59 plantas de tratamiento de agua residual que tratan un caudal de 7.76 m³/s (CONAGUA, 2012). Para lo anterior es necesario contar con una mayor infraestructura y recursos humanos que contribuyan a la mejora de la calidad de este recurso hídrico, así como propuestas innovadoras que permitan implementar sistemas de tratamiento en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas.

Debido elevados costos de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de agua residual convencionales (Urquiza, *et al.*, 2005) es importante considerar la selección adecuada de la tecnología y sistema de tratamiento a emplear. De esta manera, es importante desarrollar tecnologías de tratamiento para mejorar la calidad de agua, con bajos costos económicos y una alta eficiencia (Ramos-Espinosa, *et al.*, 2007). Entre estas tecnologías de tratamiento, se encuentran los humedales construidos, considerados como una alternativa de tratamiento ecológica que ha sido utilizada para sistemas de tratamiento descentralizados, principalmente, de aguas grises (Paulo, *et al.*, 2009). Estos humedales artificiales se componen de **áreas someras con vegetación acuática**, formando verdaderos filtros orgánicos que retienen los nutrientes y fijan minerales (Urquiza, *et al.*, 2005), constituyendo una alternativa a la problemática citada por su simplicidad técnica combinada con una alta

capacidad de tratamiento, altas tasas de remoción de bacteria y flexibilidad para (Maine, *et al.*, 2006) cargas altas de materia orgánica (Ouellet-Plamondona, *et al.*, 2006; Maine, *et al.*, 2006), sin olvidar los bajos costos de construcción, operación y mantenimiento (Comín, *et al.*, 1997; Olgúin, *et al.*, 2002; Nivala, *et al.*, 2012).

En el estado de Baja California (México) se ha detectado la necesidad de contar con nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable, para lo que se ha contemplado la construcción de plantas de tratamiento de agua residual con la finalidad de realizar un ahorro importante de agua potable, en función a la posibilidad del intercambio con agua residual tratadas para uso industrial, agrícola y riego de áreas verdes.

ZONA DE ESTUDIO

El Centro de Ingeniería y Tecnología (CITEC) pertenece a la Unidad Valle de las Palmas, una extensión académica de la UABC ubicada al noroeste de México, en el municipio de Tijuana, carretera Tijuana-Tecate, en el nuevo desarrollo urbano sustentable (Figura 1).

El sistema de humedales está ubicado en la parte sur del área del CITEC a unos metros del arroyo Valle de las Palmas a 280 msnm con las coordenadas geográficas: 32° 25' 50.51" N, 116° 40' 31.50" W. Acorde a los datos del Instituto Nacional de Geografía y Estadística de México (INEGI, www.inegi.org.mx) este sitio cuenta con 3 meses de humedad, un clima semiárido también clasificado como seco templado, material no consolidado con posibilidades altas de crear acuíferos, su tipo de vegetación es de galería y temporal con bosques inducidos.

Fig. 1: Localización del CITEC y la zona de humedales.



El sistema de humedales que nos ocupa está precedido por un tanque séptico y un sedimentador, que se encarga de remover los sólidos suspendidos y disminuir la carga orgánica del agua (Figura 2). Asimismo, se propone un tren de tratamiento que incluya la cosecha manual de vegetación y el manejo de lodos y biosólidos (Cuadro 1).

Cuadro 1: Tren de tratamiento del sistema de humedales.

Tratamiento	Instalaciones	Características
Afluente / efluente	Fosa séptica	Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual.
Pre-tratamiento	Sedimentador	Remoción de sólidos gruesos
Tratamiento secundario	Humedales SSF	Diseño en terrazas, a fin de aprovechar la topografía del sitio. De poca profundidad (0.60-0.70 m), con estratos de materiales pétreos y revestimiento de material natural. Macrófita enraizada: selección a partir de las especies endémicas de la región y ornamentales.
Manejo de la vegetación	Cosecha manual	Reciclaje en forraje, mejorador de suelos (fertilizante), producción de composta y uso ornamental.
Manejo de lodos y biosólidos	Lecho de secado	Producción de composta y disposición final de acuerdo a la normatividad vigente.

Fuente: Elaboración propia

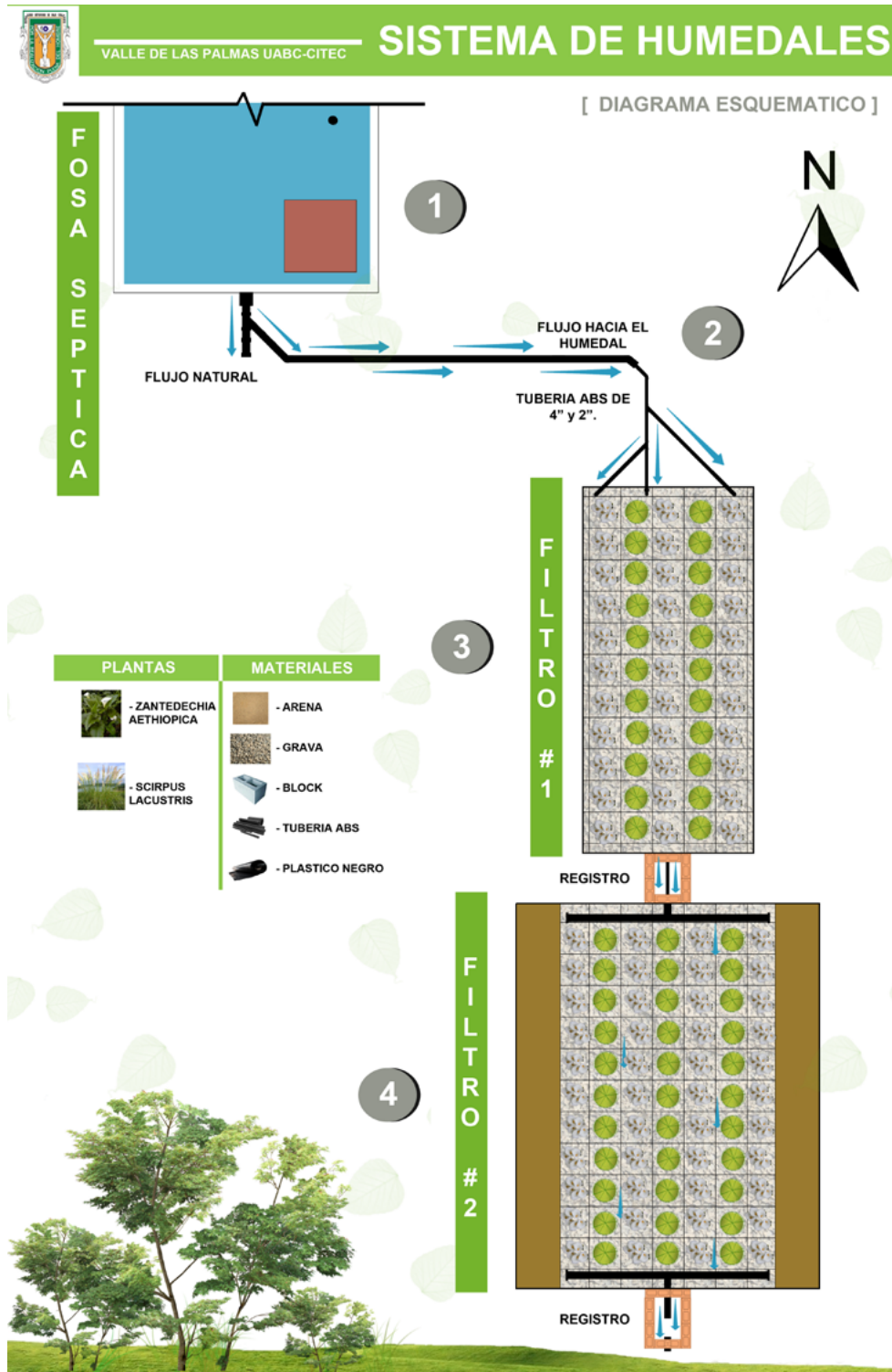
Se pretende que este tren de tratamiento sea transferible a las comunidades rurales del noroeste del Estado de Baja California o lugares con climatología mediterránea y condiciones semiáridas. El sistema debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos en la normatividad mexicana 003 (SEMARNAT, 1997) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público (Cuadro 2). Asimismo, se procura impactar en la preservación de la calidad de agua de la región y a la disposición de este recurso vital a través de su aprovechamiento en acciones de desarrollo de aguas verdes y recreación, así como promover la educación ambiental en materia de conservación, protección y reutilización de los recursos hídricos.

Cuadro 2: Límites máximos permisibles de contaminantes acorde a la normatividad mexicana.

Tipo de Reúso	Promedio Mensual			
	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	SST (mg/l)
Servicios al público con contacto directo	240	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1000	15	30	30

Fuente: SEMARNAT, 1997. NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, SEMARNAT, 1996. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

Fig. 2: Esquema de sistema de humedales construido.



MATERIALES Y MÉTODOS

a. Tecnología Seleccionada

Los humedales construidos presentan mecanismos de purificación semejantes a los naturales, solo que se controlan aspectos como la poda, extracción y disposición de la vegetación; mediante el uso de tuberías también se mejora el comportamiento hidráulico obteniéndose eficiencias de tratamiento altas (Urquiza, *et al.*, 2005). Igualmente, han sido muy exitosos en el tratamiento de agua residual en pequeñas comunidades rurales o con poblaciones menores de 4,000 habitantes (Prochaska, *et al.*, 2007; Vymazal, 2009; Hardy & Koontz, 2010; Paulo, *et al.*, 2013).

Los humedales construidos pueden ser clasificados conforme a varios parámetros; sin embargo, uno de los criterios más importantes se da con base al régimen de flujo que presentan (Vymazal, 2009). Esta categoría se divide a su vez en dos tipos a) sistemas inundados de flujo superficial –consistentes de estanques de agua y especies flotantes–, y b) sistemas de flujo subsuperficial –estaques con material pétreos, especies vegetales enraizadas y agua– (Urquiza, *et al.*, 2005). El sistema adoptado para el caso de estudio es de tipo flujo sub-superficial, es decir, el agua que pasa a través del filtro, durante el proceso, mantiene su nivel ligeramente debajo de la superficie del estrato; este tipo de humedal es el más recomendado ya que evita la acumulación de insectos (mosquitos, moscas, roedores, por señalar algunos) y minimiza el riesgo de convertirse en un foco de infección.

b. Vegetación acuática

La vegetación acuática utilizada para el humedal artificial en cuestión se eligió siguiendo los lineamientos generales recomendados por la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos de América (United States Environmental Protection Agency [USEPA], 2013), puesto que es una agencia con experiencia en la implementación y preservación de humedales, mismos que se resume a continuación:

- i. Consultar literatura y a expertos en el manejo de plantas para humedales artificiales.
- ii. Utilizar especies que soporten la carga de nutrientes que tiene el agua residual y que pueden permanecer de por vida dentro del agua.
- iii. Utilizar especies nativas para aumentar la posibilidad de supervivencia de la planta.
- iv. Evitar plantas invasoras que puedan reducir la diversidad de especies de la zona.

c. Consideraciones de costos

Los costos para la construcción de este tipo de sistemas resultan accesibles si se comparan con el sistema convencional de tratamiento. Estos costos incurridos se han desglosado en seis partidas, de acuerdo al tipo de concepto realizado, como se describe a continuación:

- i. Agregados pétreos empleados en la conformación de terraplén y estratos en celdas.
- ii. Impermeabilización de fondo y taludes de celdas.
- iii. Arreglo de tubería de alimentación de agua residual y descarga de agua tratada.
- iv. Materiales empleados en la obra civil, como protección de taludes y corona en celdas, fabricación de sedimentador y registros de control.

- v. Equipo y herramienta menor, empleada en la excavación de terreno para la conformación de celdas, afine y compactación en fondo y taludes.
- vi. Suministro de plantas acuáticas.

d. Consideraciones generales de diseño

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una metodología que incorpore tanto los elementos desde el punto de vista de la cinética del proceso de tratamiento, como los elementos geométricos e hidráulicos para que pueda ser utilizada por los organismos encargados del manejo de los recursos hídricos.

El objetivo principal de manejar humedales artificiales, en este caso, híbridos (humedal compuesto de dos o más celdas de diferente tipo) es la mejora en los rendimientos de eliminación de nitrógeno. En los humedales subsuperficiales verticales –colocados en cabecera del proceso– se producen procesos de nitrificación, mientras que en los horizontales –situados a continuación– tienen lugar los fenómenos de desnitrificación, escapando el nitrógeno en forma gaseosa, a la atmósfera.

Para el diseño del humedal artificial del CITEC-Valle Las Palmas se tomaron en cuenta algunas consideraciones validadas por Hoffman y Winker (2011), mismas que se describen a continuación:

Para el Filtro Horizontal:

- i. La pendiente en el fondo debe ser 0.5-1% para asegurar un buen drenaje.
- ii. La profundidad del filtro es de 0.60 m y un adicional de 0.15m de libre bordo para la acumulación de agua.

Para el Filtro Vertical:

- i. La parte superior de la superficie debe estar a nivel y la distribución de tubería debe cubrirse con una capa de grava para prevenir insectos y malos olores.
- ii. La distribución de la tubería debe estar diseñada de tal manera que asegure una distribución uniforme en toda la superficie del humedal. Esto es posible seleccionando el diámetro correcto, longitud de los tubos, diámetro y espaciamiento de los orificios de la tubería.
- iii. La tubería de drenaje (recolección del agua residual) debe estar cubierta por una capa de grava para evitar que se infiltre la arena a través de los orificios.
- iv. La pendiente en el fondo debe ser 0.5-1% para asegurar un buen drenaje.
- v. La profundidad del filtro de arena debe ser por lo menos 0.50 m con un adicional de 0.20 m de grava en la base, 0.10m en la parte superior y 0.15 m de libre bordo para la acumulación de agua.

Como diseño inicial se utilizó un criterio teórico-empírico propuesto por Kadlec y Knight (2009), conocido como Método basado en área, el cual evalúa la remoción de contaminante ya sea biológico, químico o físico para el cual fue diseñado el humedal haciendo uso de la superficie total del humedal, además de considerarlo un modelo cinético de primer orden con flujo tipo pistón. A partir de este modelo, se obtienen las dimensiones preliminares del área total requerida para el humedal a desarrollar,

tomando como parámetro principal a depurar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que se calcula mediante la siguiente expresión:

Donde:

- Q= Caudal de diseño (m³/día)
- As= área requerida (m²)
- Ce= concentración de contaminante en entrada (mg/l)
- Cs= concentración esperada de contaminante en salida (mg/l)
- C*= concentración de contaminante de fondo (mg/l)
- KDBO= Constante de reacción de primer orden (m/año)

Los valores para la constante $K_{DBO}=180$ m/año y $C^*=3.5+0.053C_e$, en mg/l (máximo 14) se utilizan de acuerdo al análisis de los sistemas de tratamiento de la base de datos de Norteamérica para los límites máximos en el valor de K y C* respecto al DBO en los parámetros del modelo preliminar. La obtención de estos parámetros para el sistema de tratamiento experimental nos permite llevar a cabo una extrapolación en los cálculos para otras comunidades que se encuentren bajo condiciones semejantes, principalmente en la región en estudio; sin embargo, es recomendable la determinación de parámetros específicos "locales" para la constante K y la Concentración de fondo C* a través del modelo preliminar simple (Prueba-Error) y de flujo ideal para lograr un mejor desempeño en la remoción de contaminantes en los sistemas de acuerdo con las características de cada región (Kadlec & Wallace, 2009).

Para el valor del parámetro de área obtenido de acuerdo al criterio de diseño se determinó la configuración de largo (L) y ancho (A) de los filtros del humedal, con la intención de optimizar el flujo de entrada y salida, obteniendo una relación de 2:1. No obstante, se recomienda basarse en limitaciones y oportunidades de superficie y topografía en el sitio, siendo posible encontrar relaciones L/A que van desde 2:1 a 4:1 (Kadlec & Wallace, 2009).

Los sustratos son el medio donde crecen las plantas, se desarrollan microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración. Las profundidades de los filtros está en función del tamaño máximo de raíz respecto al tipo de vegetación a utilizar, de tal forma que en este estudio se manejan sustratos principales de 0.50 m y 0.60 m para flujo vertical y horizontal, respectivamente.

Si se utiliza grava con diámetros muy grandes en los sustratos, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no cumple la Ley de Darcy para el diseño. Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso de agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción.⁸

⁸ Nota: La ley de Darcy es una relación proporcional entre la velocidad de descarga instantánea a través de un medio poroso, la viscosidad del fluido y la caída de presión a una distancia determinada. (Sotelo, 1997)

MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Los diversos sistemas de tratamiento de agua residual pueden clasificarse como físico, químico y secundario (biológico), en el caso del humedal del CITEC-Valle Las Palmas el sistema de tratamiento es uno de tipo biológico con operaciones unitarias físicas y biológicas. Durante las operaciones unitarias que comprenden estos procesos de purificación de agua residual se pueden generar residuos peligrosos, residuos sólidos urbanos y biosólidos.

Los biosólidos tienen un contenido variable de humedad y su composición depende del proceso de tratamiento de agua residual que lo generó y se clasifican como primarios, biológicos o químicos. Independientemente del sistema de tratamiento implementado, deben considerarse las operaciones y procesos necesarios para el manejo adecuado de biosólidos, porque de lo contrario se estaría transfiriendo la contaminación a otro medio: el suelo. Existen diversos procesos de tratamiento: estabilización, digestión aerobia y anaerobia, ozonización, tratamiento térmico, lechos de secado, compostaje y vermicompostaje. La elección de estos, dependerá principalmente del proceso de tratamiento que lo generó, de la disponibilidad del recurso económico, espacio y cantidad de biosólidos que serán manejados.

Considerando que el sistema de tratamiento del agua residual, está proyectado para implementarse en comunidades rurales de la región y que el recurso económico puede ser limitado, se propone recurrir a la vermicultura por ser esta una técnica efectiva y de bajo costo para reciclar los materiales orgánicos (Sayta, *et al.*, 2006), a través de la acción combinada de ciertas especies de lombriz y microorganismos (Arancon, *et al.*, 2005; Fernández-Gómez, *et al.*, 2011; Suthar, 2010). Se estima que estas reducen hasta en un 50% el volumen de los residuos orgánicos (Masciandaro, *et al.*, 1997) generando a su vez, un producto homogéneo llamado humus de lombriz o vermicomposta (Bachman & Metzger, 2008).⁹ La técnica de vermicultura acelera la estabilización de la materia orgánica (Sharma & Singh, 2002) y permite obtener un humus que puede resultar benéfico en la calidad del suelo y de alto valor agronómico (Delgado Arroyo, *et al.*, 2004), disminuyendo el insumo de fertilizantes químicos (Méndez, *et al.*, 2005; Suthar, 2010) y mejorando las propiedades fisicoquímicas, bioquímicas y microbiológicas del suelo (Gómez, *et al.*, 2010). El humus generado puede emplearse para suelos destinados a la producción de hortalizas, frutas, entre otras. En cuanto a la lombriz, por su valor nutrimental puede ser empleada para la alimentación de aves, peces, conejos, por citar algunos (Calderón-Fabián *et al.*, 2007).

La vermicultura es una biotecnología recomendable para la conversión de diferentes residuos de tipo domésticos e industrial (Sayta, *et al.*, 2006; Aira, *et al.*, 2011); además de emplearse como bioremediación en el tratamiento de suelos ácidos o alcalinos, al neutralizar su pH (Bolan, *et al.*, 2011; Li, *et al.*, 2008), y biosólidos de plantas de tratamiento de agua residual (Herat, *et al.*, 2009); dada la eficiencia de esta biotecnología se propone tratar los residuos orgánicos (cosecha de plantas acuáticas y biosólidos) generados en el sistema de tratamiento de agua residual del proyecto que nos ocupa. En el Cuadro 3, se muestran diferentes aplicaciones de la técnica de

⁹ En este trabajo se utilizará el término de vermicultura para referirse a esta técnica.

vermicultura, donde se puede observar la viabilidad de esta para el tratamiento de diversos sustratos como los que se estima serán generados durante la etapa de operación del proyecto.

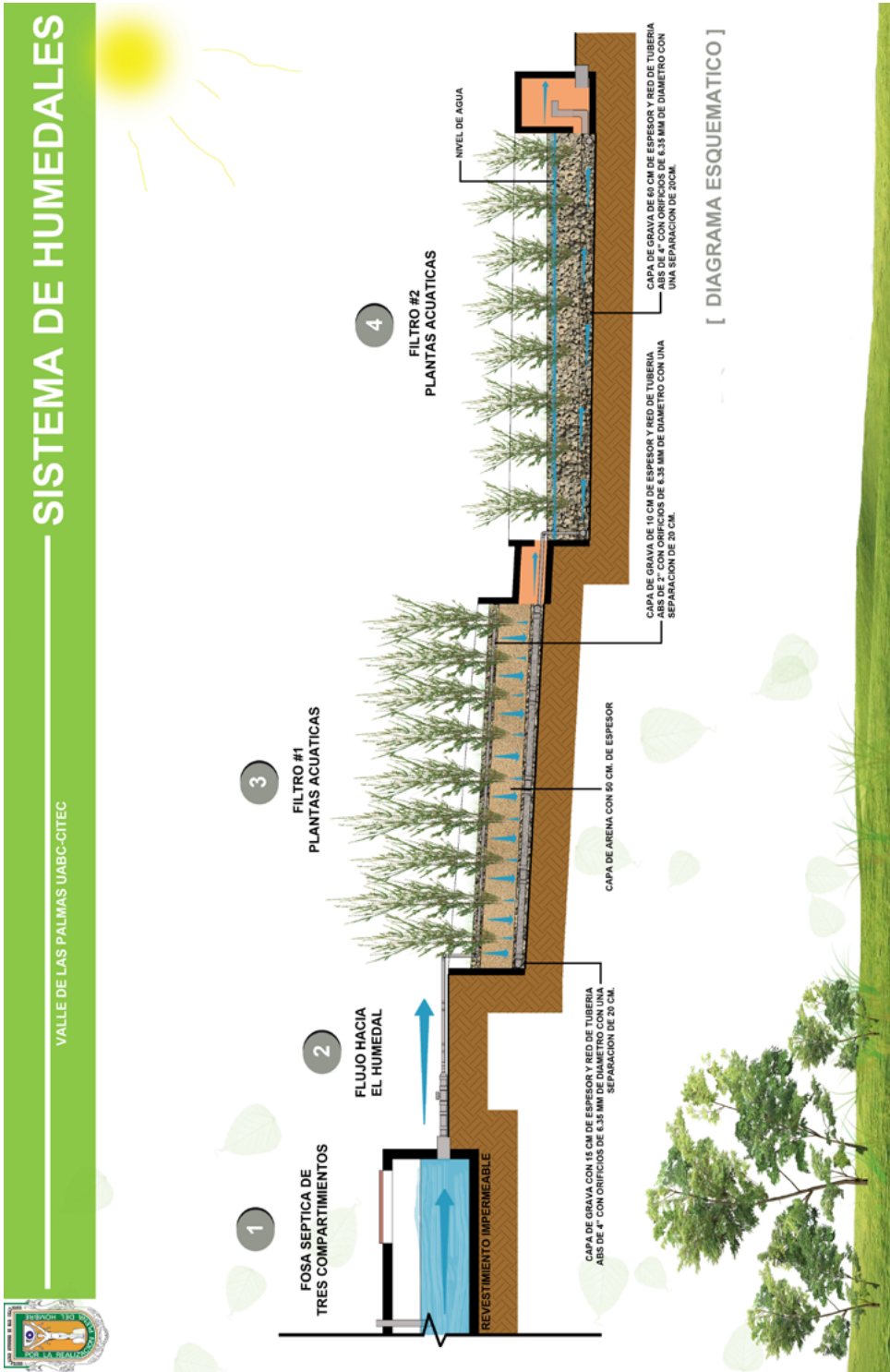
Cuadro 3: Aplicaciones de la vermicultura como enmienda.

Sustrato	Aplicación	Referencia
Biosólidos de tanque séptico	Reducción de patógenos	Rodríguez-Canche, <i>et al.</i> , 2010
Lodos de planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro	Tratamiento de lodos residuales	Vicencio-De la Rosa, <i>et al.</i> , 2011
Lixiviado de digester de biogás mezclado con residuos de trigo, caña de azúcar y salvado	Tratamiento del lixiviado y producción de vermicomposta	Suthar, 2010)

e. Operación y mantenimiento

Para asegurar una operación exitosa y sustentable del sistema de humedales se debe contar con un Plan de Operación y Mantenimiento a fin de identificar claramente las acciones de mantenimiento requeridas y su frecuencia. El plan de mantenimiento debe incluir un esquema debidamente etiquetado donde se muestre el tren de tratamiento completo, todas las estructuras existentes, las áreas abiertas, los registros, los cuerpos de agua y el tipo de planta sembrada. Asimismo, el esquema debe identificar la autoridad correspondiente, responsable de realizar cierta acción de mantenimiento. Se recomienda que el Plan de mantenimiento tenga una validez de 3 años (Melbourne Water, 2005).

Fig. 3: Esquema de corte de sistema de humedales. El Filtro 1 es de flujo vertical y el Filtro 2 de flujo horizontal.



RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Sistema de humedales

El sistema de humedales construido lo componen dos filtros conectados en serie, flujo subsuperficial, vertical y horizontal, respectivamente (Figura 3), denominados combinados o híbridos.

En el Cuadro 4 se muestra las dimensiones y características de los filtros que componen el sistema.

Cuadro 4: Características de los filtros que componen el sistema de humedales.

Características	Filtro 1 – Flujo Vertical	Filtro 2 – Flujo Horizontal
Largo	5.80	6.00
Ancho	2.70	3.20
Profundidad	0.70	0.60
Medio filtrante	Arena Gruesa 0.63 a 2 mm (0.50m) Grava ¾" a 1½" (0.20m)	Grava ¾" a 1½"
Red de tuberías	Diámetros	Diámetros
Suministro	2"	4"
Descarga	4"	4"
Plantas acuáticas	Tule Alcatraz	Tule

Las plantas acuáticas utilizadas son de tipo emergente, y se optó por aquellas que están adaptadas a la región como, p. e., el tule (*Phragmites australis*, Cav., Trin. ex Steud), y se cultivó también alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*(L.) Spreng, de la Familia Araceae) como planta ornamental. En particular, el alcatraz ha demostrado su supervivencia, crecimiento y floración en los filtros de tratamiento; contribuyendo con ello a la remoción de sólidos disueltos totales, aumento de la demanda química de oxígeno, amonio, nitrato y surfactantes nonilfenol etoxilado (Belmont *et al.*, 2004; Zurita *et al.*, 2009).

En la Figura 4 se observa una fotografía de los dos filtros, con sus respectivos registros para muestreo y control. El filtro con la tubería externa, es de flujo vertical, y cuenta con siembra de tule y alcatraz. Los espacios que se aprecian en la Figura se deben a las plantas que se han secado por estar en un proceso de adaptación, además de enfrentar un cambio de clima de invierno a seco. El tule ha resultado un poco más resistente por haber pasado un periodo de aclimatación de un año en la zona de estudio.

Fig. 4: Fotografía del sistema de humedales construido.



Los análisis fisicoquímicos efectuados a las muestras del sistema son elaborados en el Laboratorio de Análisis de Aguas Residuales de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Los resultados preliminares de estos análisis, que corresponden a un periodo de cuatro meses (Febrero-Mayo), se presentan en la Cuadro 5.

Cuadro 5: Resultados de muestro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fecha de muestreo	Fosa Séptica	Filtro 1	% de Depuración	Filtro 2	% de Depuración
26-Feb-13	410	200	51	Sin Registro	Sin Registro
13-Mar-13	470	280	40	Sin Registro	Sin Registro
9-Abr-13	214	33	85	30	86
9-May-13	166	102	102	39	77

Puede observarse que en los primeros tres meses se obtuvieron los resultados más favorables en la depuración del agua residual en relación al parámetro DBO), para el cual fue diseñado el sistema, con un 60% de remoción en promedio; estos valores corresponden a los resultados de muestreo en el efluente de la fosa séptica y del primer filtro (flujo vertical) únicamente.

Para los últimos dos meses, se incluyó en el muestro el efluente del segundo filtro (flujo horizontal), los resultados obtenidos a la salida de este filtro, presentaron un aumento importante en el porcentaje de remoción de DBO alcanzando niveles del 86%. Es importante mencionar que los sistemas de humedales construidos para tratamiento de agua residual llevan un periodo promedio de seis meses en estabilizarse; es decir, es el tiempo necesario para que todos los procesos en el sistema se ambienten y logren la eficiencia esperada.

El costo generado en la construcción del humedal equivale a \$1,720.00 pesos mexicanos por m² (que equivalen a cerca de 100 € por m²). En este caso particular el costo total se ubica alrededor de los 61,000.00 pesos (aproximadamente unos 3,600 €) (Cuadro 6).

Cuadro 6: Costos generados para la construcción del sistema de humedales.

No.	Concepto	Importe
I	Agregados pétreos	\$9,480.00
II	Membrana impermeabilizante	\$1,740.00
III	Materiales para distribución de flujo.	\$28,318.00
IV	Obra civil (registros sanitarios, emplaste de taludes)	\$7,200.00
V	Equipo y herramienta menor en construcción	\$7,650.00
VI	Plantas acuáticas	\$6,500.00
Total		\$60,888.00

REFERENCIAS CONSULTADAS

- AIRA, M., GÓMEZ-BRANDON, M., GONZÁLEZ-PORTO, P. y DOMÍNGUEZ, J. (2011). Selective reduction of the pathogenic load of cow manure in an industrial-scale continuous-feeding vermireactor. *Bioresource Technology*, Volumen 102, 9633-9637.
- ARANCON, N., GALVIS, P. y EDWARDS, C. (2005). Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. *Bioresource Technology*, Volumen 96, 1137-1142.
- BACHMAN, G. R. y METZGER, J. D. (2008). Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost.. *Bioresource Technology*, Volumen 99, 3155-3161.
- BELMONT, M. y otros. (2004). Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in Central Mexico. *Ecological Engineering*, Volumen 23, 299-311.
- BOLAN, H. y otros. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, Volumen 185, 549-574.
- CALDERÓN-FABIÁN, E. y otros (2007). *Lombricultura; una alternativa viable para la comunidad rural de Zacaloma, Tetela de Ocampo, Puebla*. Chihuahua, Memorias en Extenso VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. ISSN 0187-3296. 747-749.
- COMÍN, F. A., ROMERO, J. A., ASTORGA, V. y GARCÍA, C. (1997). Nitrogen Removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff.. *WaterScienceTechnology*, 35(5), 255-261.

- CONAGUA, 2012. *Atlas del Agua en México*, Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- DELGADO ARROYO, M. M. y otros (2004). Efecto de vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(2), 83-86.
- DURÁN DE BAZUA, C. (1994). *Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria de proceso*. 5 ed. Ciudad de México: UNAM.
- FERNÁNDEZ-GÓMEZ, M. y otros (2011). Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides. *Bioresource Technology*, Volumen 102, 9638-9645.
- GÓMEZ, E. y otros (2010). Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. *Bioresource Technology*, Volumen 101, 8897-8901.
- HARDY, S. D. y KOONTZ, T. M. (2010). Collaborative watershed partnerships in urban and rural areas: Different pathways to success?. *Landscape and Urban Planning*, Volumen 95, 79-90.
- HERAT, S., RAJIV, K., BHARAMBE, G. y BRAHAMBHATT, A. (2009). *Vermistabilization of sewage sludge (biosólidos) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms*, Australia: Griffith School of Engineering (Environment), Griffith University, Nathan Campus.
- HOFFMAN, H. y WINKER, M. (2011). *Technology review of constructed wetlands. Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment.*, Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). GmbH Sustainable Sanitation-ecosan program.
- KADLEC, R. H. y WALLACE, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*. Second Edition ed. Boca Raton, FL: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- LI, Y. L., PADMAVATHIAMMA, P. K. y KUMARI, U. R. (2008). An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. *Bioresource Technology*, Volumen 99, 1672-1681.
- MAINE, M. y otros (2006). Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry. *Ecological Engineering*, Volumen 26, 341-347.
- MASCIANDARO, G., CECCANTI, B. y GARCIA, C. (1997). Soil Agro-Ecological Management: Fertilization and vermicompost treatments. *Bioresource Technology*, Volumen 59, 199-206.
- Melbourne Water, (2005). *Constructed Wetlands Systems. Design Guidelines for Developers.*, Melbourne: Victorian Government.
- MÉNDEZ, M. D., ROMERO, E., VILLAROEL, M. D. y GÓMEZ, B. (2005). Estiércol de cerdos y producción de lombrices de tierra y composta.. *Revista Computarizada Porcina*, 12(1), 27-30.
- NIVALA, J. y otros (2012). Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modeling and management. *Water research*, Volumen 46, 1625-1640.
- OLGUÍN, E., HERNÁNDEZ, E., COUTIÑO, P. y GONZÁLEZ, R. (2002). Aprovechamiento de las plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Tecnologías Ambientales para el Desarrollo Sustentable*, 1-7.
- OUELLET-PLAMONDONA, C., CHAZARENC, F., COMEAUB, Y. y BRISSON, J. (2006). Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate. *Ecological Engineering*, Volumen 27, 258-264.
- PAULO, P. L. y otros (2013). Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering*, Volumen 50, 95-100.
- PAULO, P. L. y otros (2009). Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Sci. Technology*, Volumen 60, 2001-2007.

- PINEDA, N. (2002). La política urbana del agua potable en México: Del centralismo y subsidios a la municipalización, la autosuficiencia y la privatización. *Región y Sociedad*, 14 (24), 41-69.
- PROCHASKA, C. A., ZOUBOULIS, A. I. y ESKRIDGE, K. M. (2007). Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands, as affected by season, substrate, hydraulic load and frequency of application of simulated urban sewage. *Ecological Engineering*, 3(1), 57-66.
- RAMÍREZ-ACOSTA, R. J. y MENDOZA-ESPINOZA, M. G. (2004). *Factibilidad financiera del reuso de aguas residuales tratadas en Tijuana, Baja California, bajo el mecanismo del mercado: el caso del Proyecto Monte de los Olivos*. Ciudad de México, Ingeniería Hidráulica.
- RAMOS-ESPINOSA, M. G., RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, L. M. y MARTÍNEZ-CRUZ, P. (2007). Uso de Macrofitas Acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo del maíz y sorgo. *Revista Hidrobiológica*, Volumen 17, 7-15.
- RODRÍGUEZ-CANCHE, L., CARDOSO, V. L., MALDONADO-MONTIEL, T. y MARTÍNEZ-SANMIGUEL, M. (2010). Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting. *Bioresource Technology*, Volumen 101, 3548-3553.
- ROMERO-AGUILAR, M., COLÍN-CRUZ, A., SÁNCHEZ-SALINAS, E. y ORTIZ-HERNÁNDEZ, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Rev. Int. Contam. Ambiental*, 25(3), 157-167.
- SAYTA, S., GUPTA, A. y GARG, P. (2006). Vermicomposting of different types of waste using Eisenia Foestida: a comparative study. *Bioresource Technology*, Volumen 97, 391-395.
- SEMARNAT, 1996. *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- SEMARNAT, 1997. *NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- SHARMA, S. y SINGH, A. (2002). Composting of a crop residue through treatment with microorganisms subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology*, Volumen 85, 107-111.
- SOTELO, G. (1997). *Hidráulica General*. Volumen 1. Editorial Limusa. 561 pp. ISBN 968-18-0503-8
- SUTHAR, S. (2010). Potential of domestic biogas digester slurry in vermitechnology. *Bioresource Technology*, Volumen 101, 5419-5425.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2013. *United States Environmental Protection Agency (USEPA) - Water: Wetlands*. [En línea] Available at: <http://water.epa.gov/type/wetlands/index.cfm> [Último acceso: 2013].
- URQUIZA, E., DOMÍNGUEZ, C., GUZMÁN, R. y ÁNGEL, J. L. (2005). *Instalación de un humedal experimental para el tratamiento de las aguas residuales de la Comunidad de Cucuchuco, Mpio. de Tzintzuntzan, Michoacán*. Morelia, Michoacán, México, 1º Foro Académico de la DES de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- VICENCIO-DE LA ROSA, M., PÉREZ-LÓPEZ, M. E., MEDINA-HERRERA, E. y MARTÍNEZ-PRADO, M. A. (2011). Producción de composta y vermicomposta a partir de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 263-270.
- VYMAZAL, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering*, Volumen 35, 1-17.
- ZURITA, F., DE ANDA, J. y BELMONT, M. A. (2009). Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, Volumen 35, 861-869.

Perspectiva legal de la protección de los humedales mexicanos y españoles

Protección jurídica de los humedales en España

Abel La Calle Marcos¹

Resumen: La destrucción y deterioro masivo de los humedales ha llevado a la sociedad a adoptar medidas de protección tanto en el ámbito internacional como nacional. En Estados como España esta protección ha venido de la mano de su integración en la Unión Europea. No obstante, el objetivo de la protección real de los humedales no se consigue solo con la adopción de normas jurídicas, sino que es necesario un esfuerzo común de la sociedad civil que empuje a las autoridades públicas a hacer cumplir la protección, realizando un seguimiento eficaz de su estado ecológico, evitando su deterioro y restaurando los ecosistemas dañados.

Palabras clave: Humedales, Directiva Marco del Agua, Red Natura 2000, Directiva Aves, Directiva Hábitats.

Abstract: The massive destruction and degradation of wetlands has led societies to take protective measures at both the national and international levels. In States such as Spain this protection comes from joining the European Union. Nevertheless, the objective of actually protecting wetlands is not only achieved through the adoption of legal norms. Additionally, the civil society's joint efforts are necessary in order to pressure the public authorities to guarantee the protection of wetlands by efficiently monitoring their environmental status, preventing their degradation, and restoring degraded ecosystems.

Keywords: Wetlands, Framework Directive, Natura 2000, Bird Directive, Habitats Directive.

¹ Abogado y profesor de la Universidad de Almería, España. abel.lacalle@gmail.com

INTRODUCCIÓN

No hace falta acudir a citas de autoridad para afirmar que la cultura del siglo XXI es eminentemente visual, y si se realiza una búsqueda de imágenes en internet sobre el término “*humedal*” la casi totalidad de las imágenes que nos aparecen son bellas y luminosas fotos de humedales del mundo.

Esta simple prueba no nos permite hacer ninguna afirmación categórica pero sí reflexionar sobre cómo ha cambiado la imagen que tenemos de lo que antes se llamó terrenos pantanosos o cenagales. Hemos cambiado la denominación porque para valorar esa realidad necesitábamos una palabra que no tuviera connotaciones negativas. Téngase en cuenta que la palabra cenagal tiene como una de sus acepciones la de negocio de difícil salida, y la de pantanoso la de lleno de inconvenientes, dificultades u obstáculos. Esto no es algo nuevo, ocurre en todos los ámbitos de la cultura: así, a modo de ejemplo, lo que antes se llamó Ministerio de la Guerra ahora se llama Ministerio de Defensa.

Hemos cambiado la denominación y también hemos cambiado las leyes que los regulan pero aún no hemos detenido el proceso de deterioro y destrucción que los amenaza. Para cambiar esta situación nadie discute que necesitamos educación de los niños y jóvenes y formación de los adultos, incluyendo especialmente a quienes toman decisiones con autoridad.

Pero es igualmente necesario hacer una evaluación y seguimiento de las políticas públicas que pretenden la protección de los humedales y huir de la autocomplacencia institucional de destacar únicamente aquellos pequeños o grandes logros y meter bajo la alfombra de los datos los incumplimientos y carencias. Todos sabemos que el refuerzo positivo de la conducta es necesario pero es igualmente imprescindible que sepamos claramente qué estamos haciendo mal, pues de lo contrario no podremos corregirlo.

En relación a una visión global de lo que estamos haciendo en el planeta como especie me voy a permitir la licencia de recomendar el videofórum de una provocadora escena de la película *Matrix* de Andy y Larry Wachowski. En ella el petulante agente Smith tiene un monólogo dirigido al disidente Morfeo, que aparece torturado. En la conversación le dice con aire reflexivo y distante que quiere compartir una revelación que tuvo cuando trató de clasificar la especie humana “...y es que no son mamíferos pues el resto de mamíferos del planeta desarrollan instintivamente un equilibrio natural con el medio que les rodea, pero los humanos se asientan en un área y multiplican, consumiendo todos los recursos de forma que la única forma de sobrevivir es trasladándose a otra área”. A continuación aproximándose a Morfeo y con una música inquietante de fondo concluye que hay otro organismo en este planeta que sigue el mismo patrón y tras hacerle la pregunta retórica de si sabe cuál es, se responde “... el virus.... los seres humanos son una enfermedad, el cáncer de este planeta, son una plaga y nosotros somos la cura”. Para el videofórum es recomendable que alguien con capacidad haga de abogado del diablo y el resto de defensores de la especie humana.

De vuelta al objeto de este análisis, la recomendación que les he hecho les permite averiguar que en las páginas que siguen no encontrarán autocomplacencia patria sino una descripción del régimen jurídico español de los humedales y una visión crítica de su interpretación y aplicación.

ANTECEDENTES

En la segunda mitad del siglo XIX España se mantenía en la periferia de la llamada revolución industrial mientras que en otros países europeos estaban concluyendo los procesos de dicha industrialización. La economía española había experimentado un cierto crecimiento económico, pero aún convivían la agricultura como principal actividad productiva en crisis y en manos de una vieja oligarquía, con una incipiente industria en manos de una joven burguesía. Era una España en tránsito hacia el Estado liberal. Con estos mimbres se incrementó la producción legislativa marcada por dar amparo legal a la apropiación privada de los bienes comunales y públicos, fenómeno que en aquel siglo contribuyó a depauperar al campesinado que no disponía de tierras suficientes para usos complementarios (Piquerías, 2002).

Al final del reinado de Isabel II y bajo el Gobierno autoritario y represivo de Ramón María Narváez se aprobó la Ley de aguas de 1866, que tras el Sexenio democrático, en la Restauración borbónica, sería sustituida por la Ley de aguas de 1879. Al igual que su antecesora, esta longeva ley de 1879 dedicó un capítulo a la desecación de lagunas y terrenos pantanosos en el que fomentaba dicha desecación y otorgaba beneficios a los promotores de dichas obras, además en caso de que dichos terrenos se declarasen insalubres podía compelerse a la mencionada desecación².

Iniciado el siglo XX, en el reinado de Alfonso XIII y promovido por el ministro Rafael Gasset –a la sazón primero conservador y luego liberal–, se aprobó en España la primera Ley de Parques Nacionales de 7 de diciembre de 1916, desarrollada por el Real Decreto de 23 de febrero de 1927. Esta primera norma de protección de espacios naturales se justificó por razones estéticas y recreativas, para evitar “todo acto de destrucción, deterioro o desfiguración por la mano del hombre” en tales espacios a proteger. Se trató de una brevísima norma que secundaba las iniciativas materializadas en el Parque Nacional de Yellowstone –creado por el Congreso de Estados Unidos el 1 de marzo de 1872– y las europeas de los primeros parques nacionales en Suecia, Suiza y Alemania.

En aplicación de aquella ley el ministro Francisco Cambó declaró parque nacional la Montaña de Covadonga, los Picos de Europa, el Valle de Ordesa y el Pirineo del Alto Aragón el 15 de agosto de 1918 para, entre otros fines estéticos y turísticos, “fomentar ese movimiento de inclinación al campo, tan conveniente para la vigorización de la raza”.

Pero la valoración de aquella “riqueza excepcional” para el “enaltecimiento del suelo patrio” no alcanzaba a la generalidad de lagunas, marismas y terrenos pantanosos, ya que un mes antes el citado ministro había promovido la Ley de 24 de julio de 1918 que, aprobada por Alfonso XIII, reforzó el fomento de la “desecación y saneamiento” en beneficio de los que lo promovieran. Según esta ley “el Estado podrá conceder y auxiliar en las condiciones que se determinan en la presente ley la desecación y saneamiento de lagunas, marismas y terrenos pantanosos y encharcadizos, siempre que la superficie saneada o desecada sea superior a 100 hectáreas”. Aquella norma facultaba al promotor para beneficiarse de la expropiación de los terrenos a sus propietarios y, una vez ejecutado el proyecto, quedar dueño de los terrenos desecados.

² Artículos 60 a 68 de la Ley de Aguas de 13 de junio de 1879, Gaceta de Madrid 19.6.1879.

Esta expropiación de la propiedad privada o privatización de bienes públicos daba derecho además a ser subvencionado en las obras de desecación.

Una década después, ante la profusión de solicitudes de nuevos parques nacionales y la necesidad de establecer protecciones menos rigurosas, se amplió la tipología de espacios protegidos, creando las figuras de Sitios o Monumentos Naturales de Interés Nacional a través de la Real Orden de 15 de julio de 1927 relativa a tales parajes, pero sin que esta diversificación supusiera modificar la acción general de fomento de desecación de lagunas, marismas y terrenos pantanosos antes comentada.

En la dictadura de Francisco Franco, la gestión de los parques nacionales se centralizó con la aprobación del Reglamento del Consejo Superior de Caza, Pesca Fluvial, Cotos y Parques Nacionales a través de la Orden de 21 de diciembre de 1940, derogándose la Ley de 1916 con la Ley de Montes de 8 de junio de 1957. Por otro lado, la Ley de Reforma y Desarrollo Agrario de 1973 continuó con el mismo criterio de fomento de la desecación y apropiación privada de lagunas, marismas y terrenos pantanosos, otorgando la condición de *"interés nacional... a las actuaciones que se realizaran en marismas o terrenos que deban ser defendidos o saneados cuando abarquen gran superficie"*³.

Unos meses antes de la muerte del dictador Francisco Franco, en el decimocuarto Gobierno de la dictadura, bajo la presidencia pretendidamente aperturista de Carlos Arias Navarro, cuando en la sociedad internacional se reconoció la necesidad de la protección del medio ambiente a través del Convenio Ramsar de 1971 y en la Declaración de Estocolomo de 1972, en las Cortes españolas se adoptó la Ley de Espacios Naturales Protegidos de 1975⁴. Se trató de otorgar una protección aislada a determinados lugares por sus valores naturales, estableciendo una tipología (reservas integrales, parques nacionales, parajes naturales de interés nacional, y parques naturales) y un régimen de protección que debía ser compatible con *"el ejercicio de los derechos privados en ellos existentes"* (artículo 3.b).

La Constitución española de 1978 concluyó una larga dictadura y estableció un marco democrático con el que aspiraba a formar parte de la Comunidad Europea y, como en las constituciones democráticas recientes del entorno europeo, se incorporó la protección del medio ambiente en su texto⁵.

El proceso de renovación legislativa no fue fácil ni rápido y coincidió en gran medida con la necesidad de adaptar el Derecho español al Derecho de las Comunidades Europeas.

En los años ochenta la legislación democrática fue sustituyendo a las leyes de la dictadura y en materia de medio ambiente este cambio supuso introducir los estándares ambientales de las Comunidades Europeas.

La concepción de lagunas, marismas y terrenos pantanosos y encharcadizos que había que desecar y sanear, cambió legalmente a humedales o zonas húmedas que había que valorar y conservar con la ratificación del Convenio Ramsar de 1971⁶, y la

³ Artículo 92 del Decreto 118/1973, de 12 de enero, por el que se aprueba el texto de la Ley de Reforma y Desarrollo Agrario, BOE 3.2.1973.

⁴ Ley 15/1975, de 2 de mayo, de espacios naturales protegidos, BOE 5.5.1975.

⁵ Constitución Española, BOE 29.12.1978.

⁶ Instrumento de 18 de marzo de 1982 de adhesión de España al Convenio relativo a Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, hecho en Ramsar el 2 de febrero de 1971, BOE 20.8.1982.

aprobación Ley de Aguas de 1985, que establecería su protección general, derogando las citadas leyes de 1879 y de 1918⁷.

No obstante, las concepciones y costumbres sociales difícilmente se cambian por ley. Como ya se ha avanzado, la protección legal del medio ambiente en España ha venido de la mano de nuestra integración europea pero en pleno siglo XXI aún nos queda un importante camino propio que recorrer para que nuestra sociedad valore los ecosistemas como legado y patrimonio común. Hace falta una labor de educación de los menores y formación de los adultos para que tomemos conciencia de que no somos algo distinto a los ecosistemas, que vivimos en tanto formamos parte de ellos y que la relación de interdependencia hace que su deterioro y destrucción también nos afecte. Afortunadamente, nuestra integración en la Comunidad Europea exigió la incorporación del acervo comunitario, con un amplio conjunto de normas de protección ambiental. Es por tanto la integración de España en la Unión Europea la que impulsó de forma determinante –y sigue impulsando– la protección de los humedales en nuestro país.

CLAVES METODOLÓGICAS

Para acometer el análisis que nos proponemos en este ensayo es de interés fijar al menos las claves metodológicas que lo fundamentan.

Clave concepción ecosistémica

El concepto de ecosistema está tan presente en el conocimiento científico sobre el medio ambiente que necesariamente ha colonizado la regulación jurídico-ambiental. En la Unión Europea puede encontrarse por primera vez en el Programa de Acción de la Comunidad Europea en Materia de Medio Ambiente de 1973⁸. En España la primera referencia la encontramos en la Ley de Costas de 1980⁹.

La definición jurídica más actualizada seguramente sea la de la Ley de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad de 2007, según la cual es el “complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional”¹⁰.

El Convenio Ramsar define los humedales como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”¹¹. La legislación española desde 1985 establece que “las zonas pantanosas o encharcadizas, incluso las creadas artificialmente, tendrán la

⁷ Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, BOE 8.8.1985.

⁸ Declaración del Consejo de la Comunidad Europea y de los representantes de los gobiernos de los Estados miembros reunidos en el seno del Consejo, de 22 de noviembre de 1973, referente a un programa de acción de la Comunidad Europea en materia de medio ambiente, DO C 112 de 20.12.1973.

⁹ Ley 7/1980, de 10 de marzo, sobre protección de las costas españolas, BOE 14.3.1980.

¹⁰ Artículo 3.10 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, BOE 14.12.2007.

¹¹ Artículo 1.1 del Convenio relativo a Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, hecho en Ramsar el 2 de febrero de 1971.

consideración de zonas húmedas”¹². Como puede apreciarse se trata en ambos casos de definiciones muy amplias para no limitar el ámbito de aplicación y que se refieren exclusivamente al espacio que contiene el ecosistema a proteger.

Es evidente que la protección jurídica de cualquier hábitat de una o varias especies debe tener como referente el concepto de ecosistema para lograr su objetivo y esto es más evidente cuando lo que se quiere proteger es un tipo de ecosistema particular, como son los humedales. Las relaciones entre los distintos elementos de esos ecosistemas son tan amplias y relevantes que resulta imposible realizar una gestión sostenible sin concebirlas como una unidad funcional.

Téngase en cuenta que antes de que el concepto de ecosistema tuviera el papel que ahora tiene en la protección ambiental la acción protectora tenía un enfoque fragmentado. Un ejemplo de ello es que la protección de las aguas no contaba con una norma que regulara su protección en conjunto, sino que se encontraba fragmentada en normas distintas según el destino humano que tuviesen (cría de moluscos, pesca o consumo humano).

Clave problema – respuesta

Cuando la gente habla del medio ambiente los españoles (y europeos) piensan generalmente en los problemas ambientales. En primer lugar en la protección de la naturaleza, en segundo lugar en el cambio climático, en tercer lugar en la contaminación de las ciudades, en cuarto lugar los desastres provocados por el ser humano y solo en quinto lugar piensan en paisajes verdes y agradables (Eurobarometer 2011).

Es precisamente el enfoque entre el problema y su respuesta el que se asume en la Unión Europea para desarrollar la acción comunitaria en materia de medio ambiente y el que se asume también en este análisis. No es ciertamente algo novedoso pero el grado de desarrollo y racionalización del enfoque FPEIR adoptado por la Agencia Europea de Medio Ambiente ha resultado útil para analizar de manera clara qué ocurre e identificar qué oportunidades existen de intervención (Karageorgis *et al.*, 2006).

El enfoque FPEIR para el análisis de los problemas ambientales se basa en las relaciones causa-efecto que se representan en la cadena causal: Fuerzas motrices, Presiones, Estados, Impactos, y Respuestas. Ayuda a comprender como se genera el problema y a mejorar la eficacia de la respuesta. En este enfoque las normas jurídicas son a la vez una fuerza motriz y un modo de respuesta a los problemas ambientales.

Así, de un lado la Ley de 24 de julio de 1918 –que fomentó de la “deseccación y saneamiento” de humedales en beneficio de los que lo promovieran– constituyó una fuerza motriz que tenía como uno de sus efectos finales el impacto de la destrucción de los humedales. De otro lado la Directiva 79/409/CEE –que exige la protección de las aves y sus hábitats– se adoptó como respuesta a los problemas europeos de deterioro y destrucción de los humedales. Esto evidencia algo consabido y es que las normas jurídicas tienen un carácter instrumental ambivalente, sirviendo tanto para fomentar la acción depredadora sobre el medio natural como para protegerlo ante ella. Pero algo no tan conocido es que el sistema jurídico es formalmente coherente pero en la

¹² Artículo 111.1 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, BOE 24.7.2001.

práctica no siempre lo es. No es difícil encontrar aplicaciones de normas sectoriales, como por ejemplo las ayudas a la agricultura, que se aplican sin condicionarlas a la aplicación de las normas ambientales, por ejemplo de contar con una autorización para el uso del agua, con lo que se produce la financiación europea de actividades que contradicen o infringen frontalmente la normativa ambiental.

Fig. 1: Esquema de las políticas públicas.



Elaboración propia.

Clave escala múltiple

También es común en un problema de escala global que la respuesta se articule en los distintos ámbitos en los que se organiza el poder público y que tengan una relación que les permita converger hacia la respuesta perseguida. Así, la protección de los humedales se establece en sistemas jurídicos de escala o ámbito múltiple con objetivos comunes. En términos generales, se pueden encontrar normas de protección de ámbito internacional general, internacional regional, normas nacionales, normas regionales, normas locales, e incluso normas de adoptadas por las partes interesadas que contribuyen a su gestión. Tómese como ejemplo el humedal Salinas de Cabo de Gata en Almería, puede observarse como es protegido por normas y acuerdos que se producen en los distintos sistemas jurídicos.

Clave políticas concurrentes:

Se ha visto ya que desde una perspectiva vertical pueden apreciarse normas y figuras de protección de escalas distintas que convergen hacia un mismo objetivo. Ahora se verá que desde una perspectiva horizontal pueden encontrarse distintos organismos dentro de un mismo sistema institucional y jurídico, que actúan sobre ese medio, unas con competencias que convergen a la protección, otras con finalidades distintas, e incluso contradictorias. Volviendo al ejemplo del humedal de las Salinas de Cabo de Gata se encuentran acciones de protección desde las políticas de protección de la biodiversidad, protección de los recursos, y ordenación del territorio y urbanismo. De otro lado existen competencias en materia de fomento de la agroindustria, el turismo, la minería, etcétera, que entran en contradicción con la conservación del humedal.

Fig. 2: Figuras de protección del humedal Salinas de Cabo de Gata.



Elaboración propia.

Fig. 3: Políticas públicas concurrentes en la protección del humedal.



Elaboración propia.

Clave sociedad civil

Los movimientos ciudadanos de respuesta al deterioro ambiental surgidos en los años sesenta y las organizaciones no gubernamentales que los representan son una clave del desarrollo de la protección del medio ambiente sin la cual no puede entenderse su rápida evolución. Destacan en la defensa de los humedales en España SEO/BirdLife, WWF/Adena, UICN, Ecologistas en Acción y Greenpeace, así como la multitud de pequeñas organizaciones locales que con las anteriores mantienen unas redes de información y apoyo imprescindible.

Hay también cooperando con estas redes de información y apoyo investigadores y profesionales de universidades y otros centros públicos y privados, que aportan un conocimiento experto imprescindible para el impulso y la eficacia de la protección.

PROBLEMA SUBYACENTE

Si un problema es un conjunto de hechos o circunstancias que dificultan la consecución de algún fin, puede afirmarse que el problema ante al que responden las normas jurídicas de protección ambiental de los humedales es la acción humana que impide la consecución de los objetivos medioambientales de dichos ecosistemas, los deteriora o los destruye.

El balance sobre los humedales en la región panmediterránea realizado en 2012 ha puesto de manifiesto que ya existe una información de base accesible sobre la superficie de humedales en toda la región aunque su alcance sea mejorable. El estudio recomienda la realización de inventarios nacionales con una metodología común que permita un seguimiento de su evolución adecuado, un seguimiento con sistemas de teledetección y un análisis histórico que muestre la pérdida de humedales que en ciertos lugares ha sido masiva (Perennou *et al.*, 2012). España cuenta con un inventario nacional de humedales de acceso público¹³ e inventarios territoriales de algunas Comunidades Autónomas como Andalucía¹⁴, Castilla y León¹⁵ Galicia¹⁶, Madrid¹⁷, Navarra¹⁸, País Vasco¹⁹ o Valencia²⁰; sin embargo no se encuentran coordinados ni siguen una metodología común.

¹³ Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, por el que se regula el Inventario Español de Zonas Húmedas, BOE 25.3.2004.

¹⁴ Decreto 98/2004, de 9 de marzo, por el que se crea el Inventario de Humedales de Andalucía y el Comité Andaluz de Humedales, BOJA 5.4.2004.

¹⁵ Decreto 194/1994, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Catálogo de Zonas Húmedas y se establece su régimen de protección, BOCyL 31.8.1994.

¹⁶ Decreto 127/2008, de 5 de junio, por el que se desarrolla el régimen jurídico de los humedales protegidos y se crea el Inventario de humedales de Galicia, DOG 25.6.2008.

¹⁷ Ley 7/1990, de 28 de junio, de protección de embalses y zonas húmedas de la Comunidad de Madrid, BOM 11.6.1990.

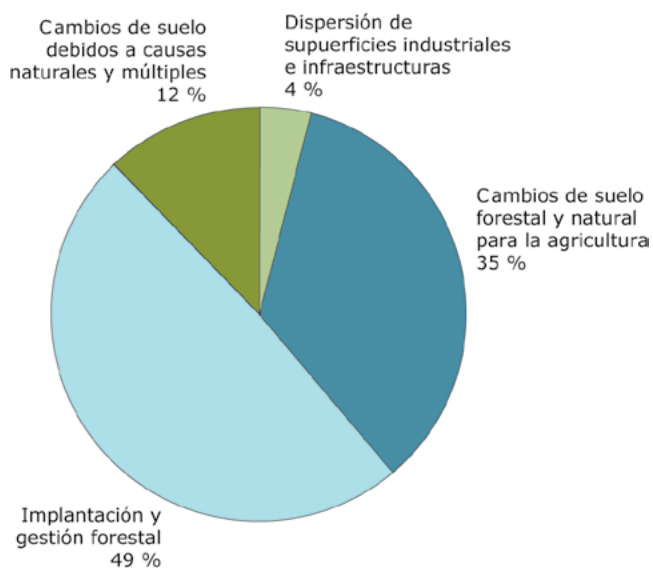
¹⁸ Decreto Foral 4/1997, de 13 de enero, por el que se crea el inventario de zonas húmedas de Navarra, BON 29.1.1997.

¹⁹ Decreto 160/2004, de 27 de julio, por el que se aprueba definitivamente el Plan Territorial Sectorial

²⁰ Zonas Húmedas de la Comunidad Autónoma del País Vasco, BOPV 19.11.2004.

²⁰ Acuerdo de 10 de septiembre de 2002, del Gobierno Valenciano, de aprobación del Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana. [2002/A9833].

La Agencia Europea de Medio Ambiente, en su análisis sobre información de referencia en materia de biodiversidad de 2010, recuerda que a pesar del valor de estos espacios, las dos terceras partes de los humedales que existían en Europa en el siglo XVIII se habían perdido en los años noventa y cuantifica las causas de pérdida de los humedales entre 2000 y 2006 con la siguientes distribución (EEA, 2010b):



Fuente: Corine land cover, EEA, 2010b

Otro estudio simultáneo de dicha Agencia sobre los costes de la pérdida de biodiversidad en los humedales mediterráneos (Doñana en el caso español) resume el diagnóstico de forma clara: *"dada la escala y el ritmo del cambio global en el ámbito ambiental, social y económico, "como hasta ahora" ya no es una opción"* (EEA, 2010b).

En España la Administración estimó que a principios de 1990 se había perdido el 59 % de la superficie de los humedales costeros, un 68 % de las lagunas de agua dulce y hasta un 80 % de las llanuras de inundación, evaluación que no se ha actualizado (Howell y González, 2010).

El análisis realizado por SEO/BirdLife en 2010 relativo a las amenazas sobre las IBA identificadas con al menos una especie de ave ligada al agua, muestra unos resultados muy preocupantes ya que el 40 % de dichas amenazas producen un deterioro rápido (mayor al 30 % en 10 años o 3 generaciones, lo que sea más largo) (Howell y González, 2010).

Pero no ha de olvidarse que estas causas inmediatas tienen a su vez causas mediatas en el modelo dominante de crecimiento económico y globalización que constituye la fuerza motriz última de estos impactos. El metabolismo de la sociedad industrial se ha alejado del modelo de la biosfera, apoyándose básicamente en la mera extracción y deterioro de los recursos de la corteza terrestre con el consiguiente deterioro ambiental (Naredo, 2006).

RESPUESTA INSTITUCIONAL

Sociedad internacional

En el ámbito internacional general, la norma más relevante en la protección de humedales seguramente sea el Convenio relativo a humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, hecho en Ramsar (Irán) el 2 de febrero de 1971²¹, y que ha sido enmendado en 1982²² y en 1987²³.

Las aves migratorias son una evidencia viva y continua de que los ecosistemas no conocen las fronteras; tal vez por eso este Convenio fue pionero, pues quiero pensar que también el ser humano busca el modo de superar las fronteras.

Lo primero que destaca de esta norma internacional es su edad. La idea inicial de un tratado de protección de las aves acuáticas se gestó en la Conferencia MAR celebrada en Les Saintes Maries-de-la-Mer (Francia) del 12 al 16 de noviembre de 1962. Tras un largo período de negociaciones el texto acabó firmado por dieciocho Estados y entrando en vigor con carácter general el 21 de diciembre de 1974.

Se adelantó en el tiempo como reconocimiento internacional de la necesidad de la protección internacional del medio ambiente a la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano adoptada en Estocolmo (Suecia) el 16 de junio de 1972²⁴. También se adelantó en la concepción de la protección del medio ambiente al centrarse en el ecosistema y en los hábitats más que en las especies, estableciendo el concepto de su uso racional que hoy equivale al uso sostenible o sustentable.

El Convenio inauguró también –aunque creo que de una forma inconsciente– lo que podría llamarse la cooperación ambiental blanda, es decir aquella que parte de ofrecer al Estado una imagen pública positiva (lista Ramsar) a cambio de compromisos ambientales voluntarios y graduables (libertad para determinar el número de sitios designados salvo el primero).

En abril de 2014 el Convenio contaba con 168 Estados adheridos –más de las dos terceras partes de los Estados del mundo– y 2168 lugares designados, que comprendían una superficie de más de dos millones de kilómetros cuadrados, equivalente a la superficie de México. España ratificó el Convenio en 1982²⁵ y desde el primer humedal designado que fue Doñana ha llegado a 74 lugares, con un total de 303.090 ha (abril 2014).

Es un tratado internacional que entró en vigor con carácter general el 21 de diciembre de 1975 y que obliga a los Estados adheridos a su cumplimiento de buena fe²⁶. Aunque hay que aclarar que las obligaciones del Convenio Ramsar son graduables ya que el Estado parte solo tiene obligación de designar un lugar. Además de esta obliga-

²¹ UNTS Vol. 996, I-14583

²² Acta Final de la Conferencia extraordinaria de las Partes en París (Francia), del 2 al 3 de diciembre de 1982.

²³ Conferencia extraordinaria de las Partes en Regina (Canadá), del 28 de mayo al 3 de junio de 1987.

²⁴ U.N. Doc. A/Conf.48/14/Rev. 1 (1973); 11 I.L.M. 1416 (1972).

²⁵ Instrumento de 18 de marzo de 1982 de adhesión de España al Convenio relativo a Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, hecho en Ramsar el 2 de febrero de 1971, BOE 20.8.1982.

²⁶ Artículo 26 de la Convención sobre el derecho de los tratados, Viena, 23 de mayo de 1969, U.N. Doc A/CONF.39/27 (1969), 1155 UNTS 331.

ción inicial (artículo 2.4) el Convenio exige al Estado la elaboración y aplicación de una planificación que favorezca la conservación de los humedales designados (artículo 3.1) y la de adoptar otras medidas de protección como la creación y salvaguarda de reservas naturales en el interior de los humedales designados (artículo 4.1), informar sobre las modificaciones que se produzcan respecto de dichos humedales (artículo 3.2), favorecer el uso racional de los humedales en su territorio (artículo 3.1) y mantener una cooperación con el resto de los Estados parte para alcanzar los objetivos del Convenio (artículo 5).

España tiene un Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales de 21 de enero de 2000, en el marco de los ecosistemas acuáticos de los que dependen. Desafortunadamente, aunque fue aprobado por la Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza el 19 de octubre de 1999, se trata de una mera declaración de intenciones ya que no ha sido aprobado y publicado como norma jurídica vinculante (el Convenio no exige que estos planes sean obligatorios).

Aunque el Convenio no estableció un mecanismo específico de garantía de su cumplimiento, lo cierto es que la Conferencia de las Partes ha ido desarrollando el Convenio de forma que en la actualidad cuenta con suficientes mecanismos para presionar al Estado incumplidor o, como dice su manual, “...para dar lugar a una situación de incomodidad política y diplomática en foros o los medios internacionales de alta visibilidad” (Ramsar, 2013). Un ejemplo de una situación de este tipo fue la que tuvo lugar en la VIII Conferencia de las Partes en Valencia en 2002 con el Informe realizado por la Misión Ramsar de Asesoramiento para el Delta del Ebro (Ramsar, 2000) en el que se incorporaron reproches a España (Ramsar, 2002) a causa de los impactos potenciales que las transferencias de las aguas del Ebro aprobadas en el Plan Hidrológico Nacional de 2001²⁷ tendrían sobre los humedales españoles, especialmente sobre el propio Delta del Ebro y la Albufera de Valencia (La Calle, 2003). Estas transferencias del Ebro constituían la mayor obra hidráulica proyectada en España (trasvase de 1050 hm³ del río Ebro al sureste español con una conducción de 912 km) y contaron con una fuerte oposición ciudadana, científica y política, lo que acabó obstaculizando su cofinanciación europea y finalmente derogándose²⁸.

La decepción que produce la limitada eficacia protectora de las obligaciones del Convenio en el uso sostenible de los recursos naturales no debe llevarnos a minusvalorar el amplio número de Estados que son parte del mismo, la difusión que ello ha supuesto para los valores de los humedales y los instrumentos de cooperación, conocimiento científico y protección que ha creado (p. e. el Fondo para la Conservación de los Humedales).

La Secretaría General del Convenio Ramsar coopera con otras secretarías de convenios complementarios –como los de Diversidad Biológica, Lucha contra la Desertificación, Especies Migratorias y el Programa MAB de la UNESCO–, así como con instituciones financieras como el Banco Mundial y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Existen además otros tratados pueden cumplir un papel complementario en

²⁷ Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, BOE 6.6.2001.

²⁸ Real Decreto-ley 2/2004, de 18 de junio, por el que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, BOE 19.6.2004.

la protección internacional de los humedales, como son la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de 1972²⁹ y la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)³⁰ también ratificados por España.

Destaca la cooperación con la Secretaría General del Convenio sobre la Diversidad Biológica, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992³¹, debido a la interacción existente entre los ecosistemas de los humedales y de los bosques circundantes que los hace complementarios. Esta complementariedad les ha llevado a realización de programas de trabajo común (Blumenfeld *et al.*, 2009). España tiene ratificado el Convenio sobre Diversidad Biológica³² y presentó la Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica, adoptada en la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente el 10 de diciembre de 1998; se trata, no obstante, de un documento declarativo sin fuerza vinculante del que no se conoce desarrollo ni aplicación específica, siendo citado como antecedente del Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017³³.

Sin la existencia de un tratado internacional como soporte de la protección específica, otro instrumento internacional de lo que hemos llamado cooperación ambiental blanda son las Reservas de la Biosfera y los Lugares Patrimonio Mundial, dentro del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB) de la UNESCO. Este, creado en 1971, es un programa intergubernamental que tiene como objetivo alcanzar un conocimiento científico que permita la mejora de las relaciones entre las personas y su medio ambiente. Propone la investigación interdisciplinar, la demostración y formación en el manejo de los recursos naturales. La red contaba en agosto de 2014 con 631 reservas de la biosfera en 119 países del mundo.

En enero de 2013 existían 142 reservas de la biosfera que comprendían 162 lugares Ramsar y 61 lugares Ramsar que comprendían 48 lugares patrimonio mundial. Esta relación llevó a la adopción de un Programa de trabajo conjunto aceptado por el Comité Permanente de Ramsar (Decisión SC26-51, 7 de diciembre de 2001) y el Consejo Internacional de Coordinación del MAB (en su 17ª reunión en París el 20 de marzo de 2002).

Como mecanismo de respuesta ante el deterioro de un humedal incluido en alguna de las listas del Programa sobre el Hombre y la Biosfera se incluye la realización de los informes de evaluación y en último extremo la decisión retirar la declaración otorgada. Para la Reserva de la Biosfera de la Mancha húmeda se ha pedido en distintas ocasiones su exclusión de la lista por la dejación de la Administración ante el grave deterioro de las Tablas de Daimiel.

²⁹ Instrumento de aceptación de 18 de marzo de 1982, de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, hecha en París el 23 de noviembre de 1972, BOE 1.7.1982.

³⁰ Instrumento de adhesión de España al Convenio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestre, hecho en Washington el 3 de marzo de 1973, BOE 20.7.1986.

³¹ UNTS I-30619

³² Instrumento de ratificación del Convenio sobre la Diversidad Biológica, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992, BOE 1.2.1994.

³³ Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, BOE 30.9.2011.

La Mancha húmeda fue declarada Reserva de la Biosfera en 1980 y comprende el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y el Parque Natural de las Lagunas de Ruidera con un total de 25.000 ha³⁴ ampliadas en 2014 como se dirá más adelante. El problema de fondo se encuentra en la proliferación de explotaciones agrícolas con pozos para regadío realizados sin previa autorización de la Confederación Hidrográfica del Guadiana pero con la permisividad e incluso el apoyo del gobierno regional de Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Para tratar de paliar la situación se adoptó el Plan Especial del Alto Guadiana (2008-2027)³⁵ que comprendía un conjunto de medidas ambientales e hidrológicas con un presupuesto de trescientos millones de euros. El plan, diseñado en plena burbuja inmobiliaria, tuvo una aplicación fallida en especial para las medidas ambientales, incluso las que no generaban gastos significativos. La única que mereció algo más de aplicación presupuestaria fue la creación de un Centro de Intercambios de Derechos de Agua, concebido principalmente para reducir la presión sobre las aguas subterráneas. Pero el resultado en la aplicación de esta medida fue lamentable ya que en la práctica lo que hizo el Gobierno fue adquirir con dinero público derechos de uso de agua legales (estuvieran en uso o no) que habían sido otorgados gratuitamente y promover su reasignación graciosa a usuarios de agua ilegales, eludiendo con ello el destino principal de recuperar el estado de las aguas subterráneas que había justificado la actuación (Requena, 2013).

A finales de 2009 la situación de las Tablas de Daimiel era de incendio y colapso pero las lluvias abundantes de 2010 las recuperó y la ausencia de sequía hasta 2014 las mantuvo. Sin embargo eso no significa que las presiones hayan disminuido por lo que una sequía puede devolver fácilmente la situación al colapso. Téngase en cuenta que el Plan Especial del Alto Guadiana ha quedado desarticulado con la ausencia de dotación presupuestaria, la aprobación de una norma excepcional para legalizar usos en 2012³⁶ de difícil o imposible aplicación legal, la liquidación del Consorcio en 2013³⁷, y la suspensión tácita de las reasignaciones de derechos de uso de agua previstas a más de cuatro mil usuarios ilegales que no obstante han quedado con el uso del agua. Así, las lluvias permitieron que temporalmente no se percibiera la gravedad de la situación y que el Gobierno, mientras hacía dejación de sus obligaciones de protección, promoviera una ampliación de 400.000 ha de territorio (no de zonas protegidas) en una operación *cosmética* que el Secretario de Estado de Medio Ambiente calificó como “recorrido ilusionante”³⁸ cuando se aprobó la ampliación en la XXVI sesión del Consejo Internacional de Coordinación del Programa MAB celebrado en Jönköping (Suecia) del 10 al 13 de junio de 2014.

³⁴ <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?mode=gen&code=SPA+05>

³⁵ Real Decreto 13/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el Plan Especial del Alto Guadiana, BOE 24.1.2008.

³⁶ Artículo 1.trece de la Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente, BOE 20.12.2012

³⁷ Resolución de 19 de julio de 2013, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, por la que se publica el Convenio de colaboración con la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, para la disolución y liquidación del Consorcio para la gestión del Plan Especial del Alto Guadiana, BOE 2.8.2013.

³⁸ http://www.magrama.gob.es/es/prensa/14.06.13%20Ampliacion%20de%20Reservas%20de%20la%20Biosfera%20Mancha%20H%C3%BAmeda%20y%20Montseny_tcm7-332650_noticia.pdf

UNIÓN EUROPEA Y ESPAÑA

Como ya se ha expuesto más arriba la protección de los humedales en España desde la integración en las Comunidades Europeas en 1986 ha evolucionado de manera paralela e inseparable a la establecida por el Derecho comunitario. Así la acción pública de protección de los humedales en España es sustancialmente el desarrollo nacional de la política comunitaria en materia de medio ambiente, en especial en materia de red Natura 2000 y de protección de las aguas y los ecosistemas acuáticos. Esto explica que se acumule el análisis de los ámbitos europeo y nacional.

Téngase en cuenta que la Unión Europea es una Organización Internacional de integración por lo que conforme a los tratados constitutivos los Estados miembros, estos transfieren el ejercicio de parte de sus competencias a las Instituciones de la Unión y por ello estas pueden aprobar normas que son directamente aplicables en todos esos Estados miembros³⁹. La consecuencia jurídica más significativa es el principio de primacía, al exigir que en caso de contradicción entre el Derecho de la Unión Europea y el Derecho nacional se inaplique este y se implemente aquel⁴⁰.

Los tratados constitutivos establecen entre los objetivos de la Unión Europea que obrará en pro del desarrollo sostenible de Europa en un nivel elevado de protección y mejora de la calidad del medio ambiente⁴¹, comprendiendo esta protección la calidad del medio ambiente, la salud de las personas, los recursos naturales y los problemas regionales o mundiales del medio ambiente⁴².

La protección de los humedales es una acción comprendida en la competencia en materia de medio ambiente, con una atribución que en términos generales es la siguiente: a) en las relaciones entre la Unión Europea y los Estados miembros esta materia está compartida por ambos⁴³, por lo que los Estados miembros pueden ejercer dicha competencia en la medida en que la Unión no haya ejercido la suya o haya decidido dejar de ejercerla; b) en las relaciones entre la Administración General del Estado o Gobierno de España, y la Administración Autonómica o Gobiernos autonómicos (España es un sistema casi federal) la competencia en materia de medio ambiente es compartida, de forma que la Administración General del Estado tiene competencia exclusiva para establecer la legislación básica y las Comunidades Autónomas pueden asumir competencias en el desarrollo y la gestión de la protección del medio ambiente⁴⁴, pero respecto de los espacios protegidos la atribución inicialmente considerada de las Comunidades Autónomas no está exenta de conflicto (López Ramón 2013).

La acción comunitaria en materia de medio ambiente se lleva a cabo a través de distintas modalidades como son la institucional –con creación de órganos específicos (Dirección General de Medio Ambiente, la Agencia Europea de Medio Ambiente, etc.)–, la de planificación (VII Programa General de Acción de la Unión Europea, etc.)

³⁹ Artículo 288 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, DO 26.10.2012.

⁴⁰ Sentencia del Tribunal de Justicia de 15 de julio de 1964, 6/64, Costa contra ENEL, Rec. p. 1253, ECLI:EU:C:1964:66, reiterada en multitud de sentencias posteriores.

⁴¹ Artículo 3 del Tratado de la Unión Europea.

⁴² Artículo 191.2 Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea.

⁴³ Artículo 4.2.e Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, DO 26.10.2012.

⁴⁴ Artículos 149.1.23^a de la Constitución española, BOE 29.12.1978.

y estrategias (Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020: nuestro seguro de vida y capital natural, etc.), aprobación de normas jurídicas (Directiva de aves, etc.) y aprobación de instrumentos financieros para fomentar determinadas actuaciones (Programa LIFE+, etc.). Por razones de espacio es imposible tratar todas estas modalidades por lo que nos centraremos en la acción normativa y su adaptación y aplicación en España.

La protección de la biodiversidad en la Unión Europea se sustenta en la Directiva Aves⁴⁵ y la Directiva Hábitats⁴⁶ y se complementa con un nutrido conjunto de normas de protección ambiental, como son las de evaluación ambiental o las de protección de las aguas. España tiene adaptado su Derecho interno a ambas directivas a través de la Ley del Patrimonio Natural y la Biodiversidad⁴⁷ y las Comunidades Autónomas las han desarrollado y ejecutado en un numeroso grupo de normas que regulan la protección de las especies y sus hábitats, declaran la protección de espacios naturales y planifican su gestión.

La Red Natura 2000 es una ambiciosa acción de la Unión Europea para la protección de los espacios naturales y las especies en los países miembros con objeto de conservar la biodiversidad local, con cofinanciación europea. España cuenta aproximadamente con un 27 % del territorio nacional incluido en 1.807 lugares según el Eurobarómetro Natura 2000 de 2013⁴⁸.

Con posterioridad a la creación de esta red se tramitó y aprobó la Directiva Marco del Agua⁴⁹, que introduce una nueva oportunidad de sinergia con las Directivas Aves y Hábitat para la protección de los humedales. Esta Directiva tiene como finalidad la protección de las aguas y los ecosistemas acuáticos, como objetivo la consecución del buen estado de todas las masas de agua para 2015 y como medios una planificación y gestión sostenible de los ecosistemas acuáticos. En una norma con tan solo 26 artículos, pero densa y compleja, que está requiriendo un gran esfuerzo de la Comisión Europea y los Estados miembros para armonizar su interpretación y aplicación.

La adaptación del Derecho español a la Directiva Marco del Agua ha sido accidentada, incompleta e incorrecta (La Calle, 2008) y se ha recogido principalmente en el Texto Refundido de la Ley de aguas⁵⁰, en su Reglamento de Planificación⁵¹ e inesperadamente por su idoneidad en la Instrucción de Planificación⁵².

El proceso de adaptación y aplicación de estas tres directivas y por tanto de las principales normas de protección jurídica de los humedales, tiene y ha tenido un

⁴⁵ Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 relativa a la conservación de las aves silvestres (versión codificada), DO L 020, 26.1.2010.

⁴⁶ Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, DO L 206, 22.7.1992.

⁴⁷ Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, BOE 14.12.2007.

⁴⁸ http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/barometer/index_en.htm

⁴⁹ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, DO L 327, 22.12.2000.

⁵⁰ Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, BOE 24.7.2001.

⁵¹ Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, BOE 7.7.2007.

⁵² Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, BOE 22.9.2008.

problema común, cual es la procrastinación. En términos de adaptación legislativa, el Gobierno español postergó más de dos años adaptar el Derecho interno a la Directiva Aves⁵³, más de un año la Directiva Hábitat⁵⁴ y más de tres años la Directiva Marco del Agua, ya que la primera adaptación en plazo fue incompleta⁵⁵. Si analizamos la aplicación normativa, la perspectiva no mejora ya que la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea se aprobó con más de siete años de retraso⁵⁶ debido a dilaciones como los de España; y los planes hidrológicos de cuenca –que tienen un horizonte de seis años– se aprobaron en no pocos casos con un horizonte de desarrollo de apenas dos años. Si para completar el panorama atendemos a los incumplimientos que han llegado al Tribunal de Justicia veremos que España ha incumplido la Directiva Aves por la contaminación de las Lagunas de Santoña⁵⁷, tolerar la caza con liga mediante el “parany”⁵⁸, autorizar la caza a contrapasa de la paloma torcaz⁵⁹, por insuficiente declaración de zonas de protección especial para las aves⁶⁰, por deteriorar con el proyecto Canal Segarra-Garrigues zonas que deberían haber sido clasificadas como de protección especial⁶¹ y por autorizar explotaciones mineras en el Alto Sil sin adoptar medidas de protección adecuadas⁶². En relación a la Directiva Hábitat ha existido incumplimiento según el Tribunal de Justicia en el caso ya mencionado de explotaciones mineras en el Alto Sil, la afección a un espacio protegido con la duplicación de la M-501⁶³, y en la falta de adopción de medidas de protección en Canarias⁶⁴. Respecto de la Directiva Marco del Agua se condenó ya a España por la no designación de las demarcaciones y autoridades competentes⁶⁵, la falta de aprobación en plazo de los planes hidrológicos⁶⁶ y por la incorrecta adaptación del Derecho interno⁶⁷.

No obstante, tanto en España como en el resto de la Unión Europea la aplicación de estas directivas va mejorando lentamente, evolución en la que tienen un papel fundamental los sistemas judiciales de los Estados miembros y de la Unión Europea. Las sentencias del Tribunal de Justicia de la Unión Europea relativas al incumplimiento

⁵³ Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, BOE 28.3.1989.

⁵⁴ Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, BOE 28.12.1995.

⁵⁵ Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, BOE 7.7.2007.

⁵⁶ 2006/613/CE: Decisión de la Comisión, de 19 de julio de 2006, por la que se adopta, de conformidad con la Directiva 92/43/CEE del Consejo, la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea, DO L 259 21.09.2006.

⁵⁷ C-355/90, ECLI:EU:C:1993:331

⁵⁸ C-79/03, ECLI:EU:C:2004:782

⁵⁹ C-135/04, ECLI:EU:C:2005:374

⁶⁰ C-235/04, ECLI:EU:C:2007:386

⁶¹ C-186/06, ECLI:EU:C:2007:813

⁶² C-404/09, ECLI:EU:C:2011:768

⁶³ C-560/08, ECLI:EU:C:2011:835

⁶⁴ C-90/10, ECLI:EU:C:2011:606

⁶⁵ C-516/07, ECLI:EU:C:2009:291

⁶⁶ C-403/11, ECLI:EU:C:2012:612

⁶⁷ C-151/12, ECLI:EU:C:2013:690

de los Estados o para resolver las dudas de interpretación (o de validez) de los jueces y tribunales internos sobre dichas normas comunitarias, han mejorado notablemente su eficacia. Han dado seguridad jurídica y argumentos de peso tanto en el control público de las organizaciones no gubernamentales ambientales, como en el control administrativo de la Comisión Europea sobre los Estados, como en el control parlamentario sobre la Comisión. En este sentido las Directivas de Aves y Hábitats cuentan con un fondo de interpretación uniforme que fortalece su aplicación, mientras que la Directiva Marco del Agua, aunque cuenta con una estrategia común de implantación que entre otras actuaciones ha elaborado un conjunto de guías muy amplio⁶⁸, tiene aún camino que recorrer para igualarse a las veteranas.

Pero analicemos con más en detalle las herramientas jurídicas de protección más destacables en la gestión de los humedales.

La identificación

Las Directivas de Aves, Hábitat, y Marco del Agua basan su sistema de planificación y gestión en un análisis previo, objetivo y comparable de la realidad de los ecosistemas sobre los que se intervienen. Este análisis responde a la lógica de toda política pública, que debe conocer los problemas a los que pretende responder para poder lograr la eficacia y eficiencia de su acción. El objeto de este análisis en la Directiva de Aves es la identificación de aquellas que viven normalmente en estado silvestre en su territorio, de sus hábitats y la evaluación de sus estados de conservación⁶⁹. En la Directiva Hábitats el análisis comprende la identificación en su territorio de los lugares que albergan un conjunto de hábitats naturales y especiales predeterminados, y evaluar su estado de conservación⁷⁰. En la Directiva Marco del Agua este análisis se realiza en cada demarcación hidrográfica desde las siguientes perspectivas: la identificación y caracterización ambiental de las masas de agua, el estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de dichas masas, el análisis económico de los usos del agua y el registro de las zonas protegidas⁷¹. Los procesos de estos análisis previos están abiertos en el tiempo, tácitamente en el caso de las Directivas de Aves y Hábitats, y con actualizaciones expresas al menos cada seis años en la Directiva Marco del Agua⁷².

En concreto las Autoridades públicas deben identificar aquellos lugares que garantizando el mantenimiento o restablecimiento de un estado de conservación favorable de los hábitats protegidos por la Directiva Hábitats y la Directiva Aves⁷³, dependen directamente del agua e incluirlos en un registro de zonas protegidas⁷⁴.

⁶⁸ <https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp>

⁶⁹ Necesario para cumplir las obligaciones establecidas en los artículos 1 a 4 de la Directiva 2009/147.

⁷⁰ Necesario para cumplir las obligaciones establecidas en los artículos 2 a 4 de la Directiva 92/43.

⁷¹ Artículos 5 y 6 de la Directiva 2000/60.

⁷² Artículo 5.2 de la Directiva 2000/60.

⁷³ Artículo 3.1 de la Directiva 92/43, artículo 3.1 de la Directiva 2009/147 y artículo 42.1 y 43 de la Ley 42/2007.

⁷⁴ Artículo 6.1 de la Directiva 2000/60, artículo 99 bis del Real Decreto Legislativo 1/2001 y artículo 24.1 del Real Decreto 907/2007.

Ya se ha dicho que la identificación, caracterización y registro de los humedales de un Estado con una metodología científica común es la primera condición necesaria para su protección (Perennou *et al.*, 2012).

Un estudio de los primeros planes hidrológicos de cuenca en España en relación a los lugares de la red Natura 2000 y las masas de aguas de los que dependen, llega a la conclusión de que la mayoría de los planes hidrológicos de cuenca españoles realizan esa identificación pero no siempre de manera completa (Peña, 2013). Se trata de un avance importante e imprescindible para la protección de los humedales, pero veamos un ejemplo de una falta de aplicación de estas normas.

Se conoce como Balsa del Sapo a un humedal artificial que cuenta con más de cien hectáreas de superficie en una zona endorreica situada en el centro del Campo de Dalías (Almería). Su formación no deliberada se ha debido a la explotación agrícola intensiva de la zona iniciada en los años sesenta. Se atribuye de manera particular a la extracción masiva de arcillas para los invernaderos –que en los años ochenta dejaron una gran oquedad en el terreno–, al progresivo aumento de los niveles del acuífero superior central (sobre el que se asienta la zona) desde que dejó de explotarse por el deterioro de la calidad de sus aguas, y a los retornos de los regadíos que toman agua del acuífero inferior –cuya explotación se generalizó con el abandono del superior–. La creación del humedal permitió la colonización de sus aguas por especies de aves protegidas y también que el nivel de la lámina de agua, una vez inundados los terrenos excavados, siguiera aumentando hasta inundar explotaciones agrícolas, llegando en 2007 a inundar almacenes y viviendas del contiguo núcleo de Las Norias de Daza. Para comprender visualmente lo ocurrido tal vez sea ilustrativo pensar en que la extracción y venta de las arcillas en la zona endorreica fue como extraer y vender el tapón de achique en una barca, pues en el momento en que la echamos al agua tendremos que estar sacando el agua continuamente.

En mayo de 2013 las medidas adoptadas por la Administración habían supuesto ya un coste superior a los quince millones de euros, siendo la más costosa hasta esa fecha los bombeos de agua. Al problema de las inversiones se suma que el agua bombeada se vertía sin tratar en una rambla cercana, lo que constituye una contaminación prohibida y que los elevados costes energéticos del bombeo deberían atribuirse conforme al principio de quien deteriora paga.

La información existente sobre este caso (Pulido *et al.*, 2013, La Calle y Martínez, 2013, entre otros) invita a considerar que la extracción de arcillas en aquel paraje puede constituir un caso paradigmático de elección insostenible. Desde el enfoque de los servicios ecosistémicos pueden identificarse en una primera aproximación las siguientes consecuencias decisionales (*trade-offs*): a) se optó por obtener el servicio de provisión de la arcilla como sustrato en los invernaderos, renunciando a los servicios de regulación que tienen esas arcillas para contener los flujos de agua subterránea, que se pierden; b) se optó por el beneficio privado de quienes extraen y venden las arcillas, renunciando al beneficio colectivo de estar protegidos de esas inundaciones y no tener que asumir los costes de medidas paliativas y preventivas; y c) se optó por obtener beneficios a corto plazo con la venta de las arcillas, renunciando a los beneficios a medio y largo plazo de contención del riesgo de inundación. En suma, desde

un enfoque de sabiduría tradicional, es pan para hoy y hambre para mañana; y desde luego pan para unos y hambre para el resto.

Este lamentable pero interesante caso también es relevante en relación a la identificación y caracterización de las masas de aguas y espacios protegidos. A pesar de las importantes inversiones que la Administración ha realizado para la gestión del humedal y de las especies protegidas que alberga, no está identificado como masa de agua, ni como zona de protección para las aves (La Calle y Martínez, 2013). Estas omisiones han tenido como consecuencia hasta 2014 que el lugar escape a las exigencias legales de protección de los ecosistemas acuáticos en la Directiva Marco del Agua y de los hábitats de especies protegidas de la Directiva de Aves y de Hábitats.

Los objetivos ambientales

La determinación y aplicación de los objetivos ambientales en las Directivas de Aves⁷⁵ y Hábitats⁷⁶ es más general y menos pautada que en la Directiva Marco del Agua⁷⁷ que, por otra parte, introduce exenciones con mayores problemas de aplicación.

El sistema de planificación y gestión establecido por esta configura el establecimiento de objetivos ambientales como una de las herramientas más importantes para lograr la protección de las aguas y los ecosistemas asociados. Esta Directiva diferencia los objetivos según se trate de masas de agua superficiales o subterráneas, o para las zonas protegidas.

La regulación establecida para los objetivos ambientales de las zonas protegidas no indica de forma expresa cómo han de ajustarse las obligaciones la Directiva Marco del Agua con las de Aves y Hábitats⁷⁸. No obstante, cualquiera que sea la interpretación que al final realice el Tribunal de Justicia, parece lógico que exija el cumplimiento de las obligaciones estándares establecidas para la masa o masas de agua de la que depende la zona protegida, más las obligaciones complementarias derivadas de las Directivas de Aves y Hábitats, en aplicación del principio de protección más rigurosa⁷⁹.

En síntesis, para aquellos humedales merecedores de integrar la red Natura 2000 las Autoridades nacionales tienen la obligación de prevenir el deterioro, proteger y mejorar el estado de conservación de los ecosistemas humedales, con el objeto de alcanzar el buen estado de las masas de agua de las que dependen desde 2015 y desde su identificación garantizar el mantenimiento o restablecimiento de un estado de conservación favorable de los hábitats y especies que lo caracterizan⁸⁰.

Una vez que se cuenta con el resumen sincrético de los deberes queda lo más difícil, que es aplicarlo de manera concreta, no solo porque se requiera la voluntad leal de las autoridades públicas nacionales frente a las tendencias de signo contrario de los agentes productivistas, sino porque a estas dificultades se suma la ausencia de un procedimiento claro y pautado para hacerlo.

⁷⁵ Artículos 1 a 3 de la Directiva 2009/147.

⁷⁶ Artículos 2 a 3 de la Directiva 1992/43.

⁷⁷ Artículos 1 y 4 de la Directiva 2000/60.

⁷⁸ Artículo 4.1.c de la Directiva 2000/60.

⁷⁹ Artículo 4.2 de la Directiva 2000/60.

⁸⁰ Artículos 1 y 4 de la Directiva 2000/60 y 3 de la Directiva 92/43.

En buena lógica los estudios previos de caracterización y valoración del estado de las masas de agua y de los hábitats deberían suministrar la información necesaria para establecer unos objetivos concretos, cuantificables y susceptibles de comparación en los planes hidrológicos de cuenca⁸¹ y los planes de gestión de las zonas especiales de conservación⁸². Esto está pautado en la Directiva Marco del Agua para las masas de agua pero no así en la Directiva hábitats para los lugares de la Red Natura 2000, asimetría que complica las sinergias entre ambas.

Si se acude de nuevo al estudio citado de los primeros planes hidrológicos de cuenca nos encontramos que el panorama es poco alentador ya que pocos planes han hecho mención a los objetivos de conservación de los lugares Natura 2000 y han valorado su grado de dependencia del agua (Peña, 2013). Es más, en ninguno de ellos se ha llegado a esbozar siquiera unos objetivos ambientales de detalle para dichos lugares partiendo al menos de su dependencia del agua y de las especies que los caracterizan.

Para el segundo período de planificación hidrológica 2015-2021 las perspectivas no parecen ser mucho mejores ya que los planes de gestión de las zonas especiales de conservación no están incorporando objetivos de conservación en detalle y la planificación hidrológica tampoco. En este caso la distribución de competencias entre espacios naturales protegidos y aguas y ecosistemas asociados se ha convertido en una fragmentación de aquellas, de manera que en aquellos ámbitos de concurrencia donde es necesaria la coordinación nos encontramos con la dejación de las responsabilidades comunes. Este es un problema ya conocido en la implementación de las políticas públicas (Pressman y Wildavsky, 1998).

El proyecto MedWetRivers (LIFE11 NAT/ES/000699) promovido por la Comunidad Autónoma de Castilla y León y cofinanciado por la Unión Europea pretende precisamente crear un modelo de gestión y seguimiento que garantice el mantenimiento o recuperación en un estado de conservación favorable de los hábitats y especies de interés comunitario ligadas al agua de la región biogeográfica Mediterránea. Habrá que prestar atención al cumplimiento de sus objetivos y al uso que hagan de ello las Autoridades competentes.

Las medidas de protección

La determinación de las medidas de protección de los humedales, de forma similar a los que ocurre con los objetivos ambientales, está menos pautada en las Directivas de Aves⁸³ y Hábitats⁸⁴ que en la Directiva Marco del Agua⁸⁵.

En la Directiva Marco del Agua se establece un instrumento de planificación, cual es el *programa de medidas*, que partiendo de los resultados de los análisis previos, ha de recoger las medidas necesarias para alcanzar los objetivos ambientales perseguidos⁸⁶. Adviértase que la adaptación en el Derecho español del programa de medidas

⁸¹ Artículo 13 de la Directiva 2000/60 y artículo 40 del Real Decreto Legislativo 1/2001.

⁸² Artículo 6.1 de la Directiva 92/43 y el artículo

⁸³ Artículos 5 y 6 de la Directiva 2009/147.

⁸⁴ Artículos 6 y 7 de la Directiva 1992/43.

⁸⁵ Artículos 4 y 11 de la Directiva 2000/60.

⁸⁶ Artículo 11.1 de la Directiva 2000/60.

puede llevar a engaño en cuanto a su finalidad. Aunque en la Directiva Marco del Agua y en la ley de aguas el programa de medidas solo debe contener medidas destinadas a alcanzar los objetivos ambientales⁸⁷, el Reglamento de Planificación Hidrológica, con dudosa legalidad, amplía su contenido e incluye medidas con otros objetivos, como la realización de infraestructuras para el almacenamiento y explotación de las aguas y los ecosistemas asociados⁸⁸.

Un ejemplo puede clarificar hasta donde llega esta ampliación de los objetivos del programa de medidas. El último tramo de Guadalquivir es un estuario de unos noventa kilómetros de longitud donde se encuentra uno de los humedales más importantes de España, las Marismas del Guadalquivir. En este humedal se halla el Parque Nacional y Natural de Doñana que reúne las figuras de protección aplicables. Los usos más relevantes del estuario han sido el regadío, la navegación y la producción hidroeléctrica. La conveniencia de suprimir meandros para facilitar la navegación ha reducido unos treinta kilómetros de longitud el estuario desde el siglo XVIII. El tránsito de buques por el estuario se realiza por el denominado canal de navegación que es la zona más profunda del cauce y la Autoridad Portuaria de Sevilla lleva adelante un conflictivo proyecto de dragado profundo de dicho canal de navegación. El citado canal es objeto de dragados de mantenimiento desde 2004, pero el que se pretende llevar a cabo desde finales de los años noventa es más intensivo y profundo para permitir la circulación de buques de hasta ocho metros de calado.

El proyecto del dragado profundo del estuario del Guadalquivir de la Autoridad Portuaria de Sevilla se sometió a evaluación de impacto ambiental en 1999 y concluyó con una declaración de impacto ambiental favorable con condiciones en 2003⁸⁹. Las manifiestas insuficiencias de esta declaración motivaron que la entonces Ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona, creara en 2005 una comisión científica para cubrir dichas omisiones, siendo el estudio financiado por la Junta de Andalucía y realizado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y dando como resultado un amplio informe en setiembre de 2010⁹⁰. El 14 de octubre de ese año se reunió la Comisión Científica y conforme la legislación aplicable y los resultados de los estudios adoptó un dictamen que en síntesis concluyó: 1) los dragados de mantenimiento debían modificar sus condiciones de realización; 2) "...dado que en la situación actual el dragado de profundización se ha demostrado incompatible con la conservación del estuario y por lo tanto de Doñana, recomendamos que se desestime definitivamente el dragado de profundización y que de mantener la Autoridad Portuaria de Sevilla su voluntad de realizar dicho dragado, inicie un nuevo procedimiento de EIA una vez las condiciones en el estuario hayan mejorado"; y 3) la situación actual requiere una intervención rápida y coordinada de la Administraciones implicadas para que "se revierta la tendencia actual que lleva al colapso al estuario y a la cosa que de él depende, y por tanto al

⁸⁷ Artículo 11 de la Directiva 2000/60 y Artículo 92 quáter del Real Decreto legislativo 1/2001.

⁸⁸ Artículo 60 del Real Decreto 907/2007.

⁸⁹ <http://www.boe.es/boe/dias/2003/10/02/pdfs/A35938-35953.pdf>

⁹⁰ Acceso a los documentos de síntesis: http://portal.apsevilla.com/wps/portal/puerto_es/MAMEstudio_es?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/APS/puertosevilla/mam/Estudiodelestuario/mamEstuario

Parque Nacional de Doñana”, debiendo preocupar además otros proyectos de modernización de regadíos, urbanización y campos de golf⁹¹.

A pesar de todo ello, la Autoridad Portuaria de Sevilla, sin realizar una nueva evaluación de impacto ambiental, presentó una alegación al Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir para que se incluyera en el Programa de medidas el proyecto del dragado profundo del estuario. La alegación fue atendida y el Programa de medidas recoge el dragado como “medida complementaria”⁹². Al haberlo hecho en el último período de participación y no haber promovido un nuevo período de participación no fue sometida a la evaluación ambiental estratégica del plan, ni al estudio de coste eficacia, ni a la participación pública de la planificación y lo que es más grave sin tener en cuenta los informes existentes sobre sus efectos en el estuario.

Pero retornemos a la relevancia de este caso para constatar hasta qué punto se ha contrariado la finalidad original del Programa de Medidas. La Directiva Marco del Agua establece que las medidas complementarias son aquellas concebidas y aplicadas con carácter adicional a las medidas básicas con el propósito de lograr los objetivos ambientales⁹³. Es indiscutible que este dragado para facilitar la navegación no es una medida que persiga ningún objetivo ambiental, sino muy al contrario se trata de una alteración morfológica que obstaculiza su consecución. Además los estudios realizados por el CSIC ponen de manifiesto que el dragado tendrá efectos en el humedal protegido; al menos se han previsto efectos de erosión de márgenes y de pérdida de calidad físico-química de las aguas, pero aún están por analizar los efectos que puede tener este deterioro de la calidad de las aguas en las especies. Recuérdese por ejemplo que los últimos treinta kilómetros del estuario son lugar de cría y engorde de multitud de especies piscícolas (Fernández-Delgado, 2011). Además de ello la ejecución de la obra en estas circunstancias incumpliría otras obligaciones, de las que citaremos como botón de muestra la de prevenir el deterioro del estado de las masas de agua sin que se haya justificado debidamente la existencia de excepción⁹⁴.

Nos encontramos pues con una deliberada confusión entre medidas de carácter ambiental (protección) y medidas de carácter sectorial (presiones e impactos) que se ha producido en la adaptación del Derecho interno y por extensión en los planes aprobados. Además, estos planes tampoco han adoptado unas medidas ambientales acordes con los objetivos de detalle porque, como ya se ha dicho más arriba, no existen. Así lo indica el citado estudio de los primeros planes hidrológicos de cuenca que arroja unos resultados aún menos alentadores que en el caso de los objetivos ambientales (Peña 2013).

⁹¹ Comisión científica, Dictamen para el estudio de las afecciones del dragado del río Guadalquivir, 12 de noviembre de 2010. Ver: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/dictamen_cc_drag_guadalquivir_tcm7-147410.pdf

⁹² Anejo nº 10 Programa de Medidas del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir 2009-2015, p. 155.

⁹³ Artículo 11.4 de la Directiva 2000/60.

⁹⁴ Artículo 4.7 de la Directiva 2000/60.

El seguimiento de su estado de conservación

En este ítem ocurre lo mismo que respecto de los objetivos ambientales y las medidas de protección, pues está menos pautado en las Directivas de Aves⁹⁵ y Hábitats⁹⁶ que en la Directiva Marco del Agua⁹⁷.

Las Autoridades nacionales tienen el deber de establecer un programa de seguimiento del estado de las aguas con métodos normalizados que comprenda tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos (incluido el estado o potencial ecológico) y que para las zonas protegidas “se completarán con las especificaciones contenidas en la norma comunitaria en virtud de la cual se haya establecido cada zona protegida”⁹⁸.

El estudio de los primeros planes hidrológicos de cuenca antes citado tampoco mejora su diagnóstico en el caso del seguimiento (Peña, 2013). Pero analicemos con algo más de detenimiento el plan que ha avanzado algo más en este aspecto para contar con una referencia concreta.

El Plan Hidrológico del Duero se aprobó en junio de 2013⁹⁹ y en su normativa dedica una sección al seguimiento diferenciando el del estado de las aguas, el del programa de medidas, el de los regímenes de caudales ecológicos y otros trabajos de seguimiento¹⁰⁰. En el seguimiento del estado de las aguas lo primero que hace es reiterar el mandato que tiene para completar el programa de seguimiento que la Directiva obligaba a tener operativo en 2006¹⁰¹. En segundo lugar manda que los resultados se incorporen progresivamente al sistema de información Mirame de la Confederación “teniendo en cuenta también los objetivos ambientales específicos de las zonas protegidas”¹⁰². Da la impresión que el planificador está pensando en las zonas protegidas de captación de agua destinada al consumo humano¹⁰³ pero según el conocido principio hermenéutico donde la norma no distingue tampoco debe hacerlo quien la interpreta por lo que los objetivos específicos bien pueden también referirse a los de la red Natura 2000. Tanto si ha sido voluntario como involuntario, el caso es que el seguimiento del estado de las aguas debe tener en cuenta los objetivos específicos de conservación de los lugares de la red Natura 2000 e incluirlos en el citado sistema de información.

CONCLUSIONES

La protección jurídica de los humedales en España ha tenido en los últimos años una intensa evolución para adaptarnos al Derecho de la Unión Europea, pero aún queda realizar un gran esfuerzo público para su completa y correcta regulación y aplicación.

⁹⁵ Artículo 12 de la Directiva 2009/147.

⁹⁶ Artículos 11 y 17 de la Directiva 1992/43 y artículo 47 de la Ley 42/2007.

⁹⁷ Artículo 8 de la Directiva 2000/60.

⁹⁸ Artículo 8 de la Directiva 2000/60.

⁹⁹ Real Decreto 478/2013, de 21 de junio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero, BOE 22.6.2013.

¹⁰⁰ Artículos 100 a 103 del Real Decreto 478/2013.

¹⁰¹ Artículo 8.2 de la Directiva 2000/60.

¹⁰² Artículo 100 del Real Decreto 478/2013.

¹⁰³ Artículo 75.1 del Real Decreto 478/2013.

Para que se lleve a cabo este esfuerzo es necesario que las organizaciones no gubernamentales con la cooperación de científicos y expertos, y el respaldo de los movimientos ciudadanos, aguijoneen a las Autoridades Nacionales y a la Comisión Europea para lograr algo tan fundamental como que se aplique la ley.

En concreto debería completarse el Inventario Nacional de Humedales, armonizando la metodología utilizada y estableciendo un sistema eficaz de coordinación con los inventarios autonómicos y los registros de zonas protegidas de los organismos de cuenca o administraciones competentes de las Comunidades Autónomas.

En materia de objetivos ambientales queda una tarea mucho más amplia. Lo primero es establecer objetivos concretos de prevención del deterioro en tanto se determina una metodología que permita establecer las necesidades de los ecosistemas dependientes del agua y en especial de los lugares merecedores de integrar la Red Natura 2000.

En relación a las medidas específicas para la consecución de los objetivos de prevención del deterioro mencionados en los lugares merecedores de integrar la red Natura 2000, se precisa una concreción y aplicación inmediata.

El programa de seguimiento deberá incluir igualmente la aportación de los datos necesarios para poder valorar en qué medida se están cumpliendo los objetivos específicos y si son eficaces las medidas adoptadas.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- BLUMENFELD, S., LU, C., CHRISTOPHERSEN, T., COATES, D. (2009). *Water, Wetlands and Forests. A Review of Ecological, Economic and Policy Linkages*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands, Montreal and Gland. CBD Technical Series No. 47.
- EEA (2010a). *Ecosystem accounting and the cost of biodiversity losses. The case of coastal Mediterranean wetlands*, EEA.
- EEA (2010b). *EU 2010 biodiversity baseline*, EEA.
- FERNÁNDEZ-DELGADO, C. (2011). "La zona de cría y engorde del bajo Guadalquivir" en Rubiales Torrejón, J. (coord.) *El río Guadalquivir. Volumen II, Sanlúcar de Barrameda: del mar a la marisma*, Junta de Andalucía, 89-95.
- HOWELL, D. y R. GONZÁLEZ GARCÍA (2010). *La Directiva Marco del Agua y la conservación de los humedales y los espacios de la Red Natura 2000 que dependen del agua*. SEO/BirdLife, Madrid.
- KARAGEORGIS, A., KAPSIMALIS, V., KONTOGIANNI, A., SKOURTOS, M., TURNER, R., y SALOMONS, W. (2006). "Impact of 100-year human interventions on the deltaic coastal zone of the inner Thermaikos Gulf (Greece): a DPSIR framework analysis", *Environmental Management*, 38(2): 304-315.
- KLEMM, C., CRETEAUX, I. (1995). *La Evolución Jurídica de la Convención de Ramsar Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Habitat de Aves Acuáticas (2 de febrero de 1971)*, Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
- LA CALLE MARCOS, A. (2004). "El nuevo marco jurídico que introduce la Directiva Marco de Aguas en la Unión Europea, en El agua en España" en *Propuestas de futuro*, Madrid: Ediciones del oriente y del mediterráneo.

- (2008). “La adaptación española de la Directiva Marco del Agua” en Del Moral, Leandro y Hernández-Mora, Nuria (eds.) *Panel Científico-Técnico de seguimiento de la política de aguas*. Fundación Nueva Cultura del Agua- Ministerio de Medio Ambiente - Universidad de Sevilla.
- LA CALLE MARCOS, A. y MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, F.J. (2013). “La Balsa del Sapo. Una realidad obstinada”, *Cuides*, Vol.10, 211-239.
- LÓPEZ RAMÓN, F. (2013). “Rétrospective de la crise de l’environnement dans un Etat composé de régions autonomes», *Revue juridique de l ’environnement*, Estra 1, 231-243.
- NAREDO, J. M. (2006). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas*, Madrid: Siglo XXI.
- PEÑA ARMIJO, L. (2013). *La red Natura 2000 y la Directiva marco del agua: hacia la resolución de un problema cultural, institucional y jurídico*, Máster de gestión fluvial sostenible y gestión integrada de aguas. Universidad de Zaragoza y SEO/BirdLife.
- PERENNOU, C., BELTRAME, C., GUELMANI, A., TOMAS VIVES, P., PIERRE CAESSTEKER, P. (2012). “Existing areas and past changes of wetland extent in the Mediterranean region: an overview”, *Ecologia mediterranea*, Vol. 38 (2), 53-66.
- PIQUERAS ARENAS, J.A. (coord.) (2002). *Bienes comunales: propiedad, arraigo y apropiación*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- PRESSMAN, J., WILDAVSKY, A. (1998). *Implementación. Cómo grandes expectativas concebidas en Washington se frustran en Oakland*, México, Colegio Nacional de Ciencia Política y Administración Pública, Fondo de Cultura Económica.
- PULIDO BOSCH, A., MOLINA, L., SOLA, F., SÁNCHEZ MARTOS, F. y VALLEJOS, Á. (2013). “Singularidades hidrogeológicas en acuíferos intensamente explotados. Balsa del Sapo, Campo de Dalías, Almería”, *X Simposio de Hidrogeología*, Granada, 16 a 18 de octubre de 2013.
- RAMSAR (2000). Misión Ramsar de Asesoramiento N° 43 Delta del Ebro, Cataluña, España 18-22 de septiembre de 2000.
- RAMSAR (2002). Resolución VIII.10 Mejorar la puesta en práctica del Marco estratégico y la Visión para la Lista de Humedales de Importancia Internacional.
- RAMSAR (2013). *Manual de la Convención de Ramsar*, 6ª edición.
- REQUENA PANIAGUA, R.M., (2013). Plan especial del Alto Guadiana. Pasado, presente y futuro. Estudio especial del Consorcio para la gestión del Plan Especial del Alto Guadiana y las técnicas para reordenar los derechos de uso del agua en el ámbito del PEAG. Memoria final del Máster en Investigación y Especialización en Derecho de la Universidad de Zaragoza.
- RIVERA NÚÑEZ, D. (1985). “Legislación y protección de zonas húmedas” en Ramírez Días, L. y Torres Montes, A. (coords.) *Aspectos legales de la temática ecológica y ambiental*, Universidad de Murcia.

Instrumentos Jurídicos de Protección para los Humedales en México

Elisa Enriqueta de Jesús Sedas Larios¹

Resumen: En este capítulo se muestra los instrumentos jurídicos para la protección de los humedales en México, las autoridades que lo regulan y el análisis de protección bajo una óptima de responsabilidad social y la importancia del Estado como agente coadyuvante para la conservación. La autora concluye con una reflexión acerca del papel del Estado y la emergencia en impulsar acciones de responsabilidad social e identificarse con el patrimonio natural mexicano para llevar a cabo una conservación, protección y preservación real de los humedales.

Palabras claves: humedales, sustentabilidad, leyes, protección, responsabilidad social.

Abstract: This chapter shows the legal instruments for the protection of wetlands in Mexico, authorities currently regulate it and analyzing trends protection with social responsibility stakeholders and the importance of the state as an adjuvant agent. The author concludes with considerations on the role of government in promoting responsible actions and making a real protection, conservation of natural heritage in Mexico.

Keywords: wetlands, sustainability, law, protection, social responsibility.

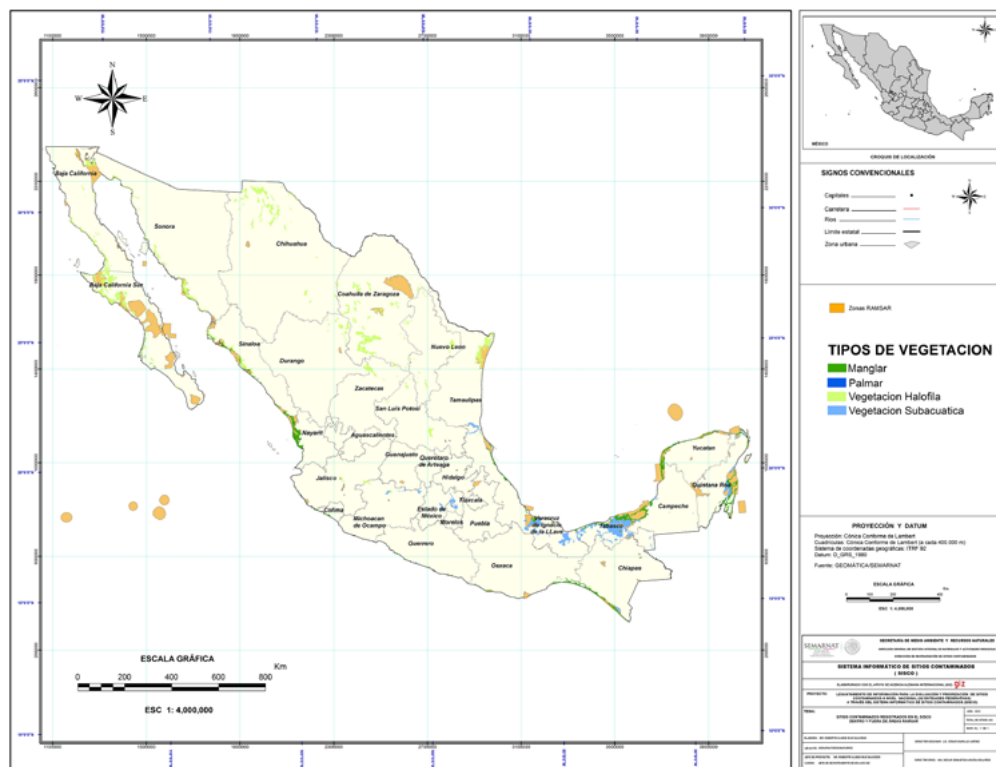
INTRODUCCIÓN

Los humedales están vinculados con las zonas costeras y cuerpos de agua, son de suma importancia en la tierra, aproximadamente el 40% de la población mundial vive en un radio de cien kilómetros de la línea costera, área que representa únicamente el 20% de México. La longitud de la línea de costa es de 11,122 km², limitando al este con el Mar Caribe en el Océano Atlántico y al oeste con el Océano Pacífico (CONABIO, 2013).

¹ Licenciada en Derecho, cuenta con especialidades en Derecho de la Unión Europea, Especialidad Judicial Federal y Derecho Internacional del Medio Ambiente, así como la Maestra en Política, Gestión y Derecho Ambiental y en Administración y Gerencia Pública y créditos doctorales. Actualmente catedrática en la Universidad Anáhuac México Norte y consultora ambiental independiente. Email: elisasedas@hotmail.com.

México cuenta actualmente con más de 138 sitios de humedales con una superficie de 8,959,543 m² de la superficie nacional. De estos, 57 sitios son Áreas Naturales Protegidas (ANP), 14 sitio son áreas estatales/municipales y 63 sitios bajo otra modalidad de conservación conforme al padrón de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (SEMARNAT, 2012).

Fig. 1: Mapa de México con zonas de conservación extraído a través del programa de la Agencia Alemana de Cooperación Internacional GIZ



El ecosistema de humedal posee una gran riqueza natural que debe ser conservada y gestionada de forma responsable y sustentable, utilizando la mejor información y tecnología disponible. En consecuencia, el aprovechamiento de estos ecosistemas debe realizarse en un esquema de responsabilidad y equidad, con el fin de promover el bienestar de la población y garantizar que los valores, bienes y servicios ambientales que proporcionan los humedales perduren en el largo plazo, para mantener la posibilidad de su aprovechamiento por las generaciones futuras (SEMARNAT, 2013).

La CONANP es un órgano desconcentrado² de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos, inició actividades el 5 de junio del 2000, es la autoridad encargada de la administración de las Áreas Naturales Protegidas en México.

² Para mayor información está el sitio oficial de la CONANP, en donde se podrá consultar de forma detallada los sitios de importancia internacional en el país. Disponible en: www.conanp.gob.mx

Para llevar a cabo el instrumento de política ambiental como es el programa de manejo de humedales, resulta ser necesaria una planeación con una visión multidisciplinaria, por las diversas disciplinas que intervienen, esto es, desde biólogos hasta geógrafos, esto es complejo y traspasa las fronteras político-administrativas. Resultando la necesidad de contar con bases científicas, de ahí que diversos actores tanto locales, nacionales como internacionales para la toma de decisión deben intervenir para cumplir con los acuerdos suscritos por el país para la preservación del “Patrimonio natural y del agua como derecho humano” pues parte de las funciones de los humedales involucra la regulación del beneficio de gozar de buena calidad del agua, que se garantiza en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en adelante CPEUM, como en la última reforma el pasado 8 de febrero de 2012 al señalar en el artículo 4º. De la CPEUM, en relación a los derechos a un medio ambiente sano y al acceso, disposición y saneamiento de agua:

“[...] Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley... Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines [...].”

En ese contexto, para conservar el ecosistema de humedales se requiere regular la gestión ambiental dentro de la administración pública para el manejo adecuado del ecosistema de humedal. Lo anterior implica la integración de la naturaleza y la cultura, siendo los seres humanos parte integrante de los ecosistemas, desencadenando la visión ecosistémica con múltiples espacios geográficos para contar con las funciones ambientales y los valores sociales de los humedales. Es entonces cuando ubicamos a la responsabilidad social, entendida como un compromiso u obligación, de los miembros de una sociedad –ya sea como individuos o como miembros de algún grupo– tienen, tanto entre sí como para la sociedad en su conjunto. El concepto introduce una valoración –positiva o negativa– al impacto que una decisión tiene en la sociedad. (Verduzco, 2012).

HUMEDALES. GENERALIDADES Y BENEFICIOS

Los humedales son vital importancia en virtud que dentro de sus beneficios se encuentran asociados a las aguas nacionales, referidas en el artículo 27 de la CPEUM y son propiedad de la nación. Por lo tanto, la regulación de las actividades y obras que se desarrollen en ellos es de jurisdicción federal.

Los humedales asociados a otras aguas no incluidas en aguas nacionales, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el

aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados. Lo anterior, conforme a la Ley de Bienes Nacionales.

Importancia y beneficios

Los humedales son unidades ecológicas frágiles, que llevan a cabo una gran cantidad de procesos naturales de importancia para la humanidad y para el propio sistema ecológico; constituyen además un importante sitio de alimentación, refugio y reproducción para diversas especies silvestres. Son ecosistemas complejos y frágiles, constituidos por una serie de componentes físicos, químicos y biológicos, que corresponden a suelos, agua, especies animales y vegetales y nutrientes, los cuales asociados a la presencia fluctuante o intermitente de flujos de agua, determinan la biodiversidad de medio (Moreno-Casasola, 2006).

Dentro de sus beneficios está el suministro de agua tanto para la explotación directa como para la recarga de acuíferos por infiltración; regulación de flujos de suma importancia para el control de inundaciones; prevención y protección contra el ingreso de aguas saladas que afecten aguas subterráneas y aguas dulces superficiales, protección de fuerzas de la naturaleza como tormentas, huracanes, depresiones tropicales, etc.; retención de sedimentos, nutrimentos y tóxicos, biodiversidad, patrimonio cultural, belleza paisajística entre otros. (De la Lanza, 2012).

Los arrecifes coralinos y los manglares son los ecosistemas más productivos del mundo, juntos con los estuarios, los pastos marinos y demás zonas marino-costeras, por lo que se consideran vitales para la reproducción de especies marinas. En ese entendido, poseen gran valor ambiental, económico, social, cultural, científico y recreativo; razón por la cual su protección como bien jurídico es importante para la sociedad ya que su destrucción, menoscabo o pérdida ocasionan grandes daños y perjuicios a la humanidad.

CONCEPTO JURÍDICO DE HUMEDAL

Definir el concepto humedal es complejo y polémico considerando la técnica jurídica, máxime si se considera el importante papel que juegan los existen factores científicos, económicos, sociales, políticos y culturales. Sin embargo, en este apartado se avoca a la revisión de las bases internacionales que dieron origen a su regulación y a las consideraciones del sistema jurídico mexicano con una visión administrativa que es el ámbito de acción en gran parte de la protección de los humedales en el país.

Desde un punto de vista ecológico, para que un ecosistema sea catalogado como humedal debe cumplir con las siguientes tres características: permeabilidad de suelos; presencia de vegetación hidrófila; y una pendiente menor o igual al 5% De esta forma, para demostrar su existencia se debe constatar la presencia de estos tres elementos (Moreno-Casasola, 2006).

La definición más aceptada a nivel global es la contenida en el artículo 1, inciso 1 de la Convención RAMSAR, la cual establece:

"[...] son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estanca-

das o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros [...].”

Cabe aclarar que la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) –conocida como “RAMSAR”– es un tratado intergubernamental en el cual se manifiestan los compromisos contraídos por los países miembros para mantener las características ecológicas de sus Humedales de Importancia Internacional y planificar el “uso racional”, o uso sostenible, de todos los humedales situados en sus territorios.

En ese contexto, la definición que brinda RAMSAR es amplia y genérica, busca un mayor ámbito de protección de este tipo de ecosistemas; pero al mismo tiempo, y como efecto no deseado, genera que los esfuerzos para conservar sean dispersos y difíciles de cumplir. Debido que hasta los ríos son considerados humedales conforme al Convenio de RAMSAR.

Por ello, lo ideal es que cada país tenga su propia definición de conformidad con su realidad natural, económica, política y cultural, pues el cuidado que se le otorgue a este bien ambiental, dependerá el grado de protección que el ordenamiento jurídico establezca.

Definición de Humedal que adopta el sistema jurídico mexicano

Si bien más adelante se mostrará la regulación en México sobre los humedales, en este apartado se especifica la definición de humedal. Haciendo la aclaración que para las normas oficiales mexicanas es un instrumento de política ambiental que se establece en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley madre de la regulación ambiental en el país.

Ahora bien, la NOM-022-SEMARNAT-2003 que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zona de manglar, en adelante la Norma, señala los aspectos a regular, en este sentido, se generó controversia por conceptos claves, como fue el de “Humedal costero” tanto por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA) de la SEMARNAT, autoridad competente para emitir las resoluciones para ejecutar mediante el Manifiesto de Impacto Ambiental (instrumento de política ambiental previsto en LGEEPA), el aprovechamiento de los recursos a través de obras o actividades en zonas de humedal, como por estudiosos del derecho ambiental y promotores de proyectos. Para la Norma el concepto de humedal costero es el siguiente:

“3.36 Humedales costeros: Ecosistemas costeros de transición entre aguas continentales y marinas, cuya vegetación se caracteriza por ser halófito e hidrófito, estacional o permanente, y que dependen de la circulación continua del agua salobre y marina. Asimismo, se incluyen las regiones marinas de no más de 6 m de profundidad en relación al nivel medio de la marea más baja.”

La Norma señala que la definición es con base a estudios científicos internacionales y es la definición utilizada por los tratados internacionales suscritos por México. Por lo tanto, esta norma busca aterrizar dichos compromisos internacionales a la legislación nacional. Para efectos de la norma, humedal costero será entendido

como “las unidades hidrológicas integrales que contengan comunidades vegetales de manglares.”

Para el caso de humedal, estero y manglar hay que ser cuidadosos pues dependerá de la concepción para regular la protección, es decir, del criterio que establezca la norma.

Por su parte el artículo 3, fracción XXX de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), define a los humedales como:

“las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”.

Esa es una definición en Ley en el marco jurídico mexicano; sin embargo, no abarca las características que encierran a un humedal. A la fecha no hay una Ley de Costas u otra disposición que emita una definición clara y sistémica de lo que es un humedal, de tal suerte que lo que actualmente protege a los humedales se relaciona con otros cuerpos legales nacionales, como se verá en otro apartado.

PROTECCIÓN INTERNACIONAL

En México, de conformidad con el artículo 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos los tratados internacionales debidamente aprobados y ratificados por la Cámara de Diputados y Senadores (Poder Legislativo en México) son ley suprema de conformidad con la jurisprudencia. Sin embargo, la Suprema Corte de Justicia de la Nación (Poder Judicial) ha emitido jurisprudencia al respecto en la que enfatiza la visión de supremacía constitucional.³ Sin embargo, con las reformas constitucionales del 2012 en materia de derechos humanos, el Estado mexicano sube a la categoría de Ley los tratados internacionales que haya suscrito y encontramos de manera íntimamente relacionada con humedales el derecho al Agua, al respecto la Corte Interamericana de derechos humanos ha emitido sentencias. Así mismo, los principios contenidos en declaraciones ambientales o “*Softlaw*” (derecho suave) suscritas por el país son de plena ejecutoriedad.

Es posible afirmar entonces, que los instrumentos internacionales ambientales suscritos por México son legislación plenamente aplicable y de exigibilidad judicial directa; esto implica que cualquier sujeto legitimado y afectado en su esfera jurídica puede interponer acciones de inconstitucionalidad contra norma inferior (leyes, reglamentos, decretos y actos administrativos) que contravengan un tratado internacional.

Si bien es cierto, la Convención RAMSAR es el instrumento jurídico de mayor importancia para la protección y uso sostenible de los ecosistemas de humedal, ello no obsta para que el tema sea tratado de forma transversal con otros convenios como son el Convenio para la Protección de la Flora, de la Fauna y de las Bellezas Escénicas

³Para mayor información véase en www.scjn.gob.mx el apartado de consulta de jurisprudencia.

naturales de los países de América, suscrito en Washington el 12 de octubre de 1940, antes que se creara la carta de Naciones Unidas y otras declaraciones como la de Río. Esta convención creó por vez primera categorías de manejo de Áreas Protegidas y dicta normas de vigilancia y reglamentación para evitar el Comercio Internacional de Especies, lo que después adopta el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre, conocido como Convenio CITES. Por otra parte está la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. A efectos de esta convención, el artículo 2 señala como patrimonio natural, una de las partes: “...*Los monumentos naturales que tengan constituidos por formaciones físicas y biológicas o grupo de estas formaciones que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético y científico...*”.

En ese contexto, también la Convención sobre la Diversidad Biológica del 13 de junio de 1992, tiene como objetivo la conservación biológica y define la “diversidad biológica”, como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprendiendo la diversidad de cada especie, entre las especies y los ecosistemas.

Las resoluciones VII.5 y VII. 28 de la séptima conferencia de las partes realizada en febrero de 2004, estableció lo siguiente:

“Establecer políticas y mecanismos institucionales con la plena participación de las comunidades indígenas y locales, para facilitar el reconocimiento legal y la administración eficaz de las áreas conservadas por las comunidades indígenas y locales, de manera consecuente con los objetivos de conservar tanto la diversidad biológica como los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales.”

A diferencia de las demás convenciones mundiales sobre el medio ambiente, RAMSAR no está afiliada al Sistema de Acuerdos Multilaterales sobre el Medio Ambiente (AMMA) de las Naciones Unidas, pero está entre los tratados y acuerdos del “grupo relacionado con la biodiversidad” (CONANP, 2013).

México se adhirió el 20 de diciembre de 1984 después de haber sido aprobado por el Senado de la República (D. O. F., el 24 de enero de 1985) y con plena vinculación y entrada en vigor para a partir de su adhesión el 4 de julio de 1986 (al incorporar su primer sitio RAMSAR), que con la promulgación publicada en el D. O. F., el 29 de agosto de 1986, será considerada Ley Suprema, de conformidad con lo establecido en el Artículo 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

A septiembre de 2012 la Convención de RAMSAR cuenta con 163 partes contratantes, 2053 humedales registrados, que abarcan una superficie total de 193,815,921 ha (RAMSAR, 2013).

También, de manera indirecta los humedales son protegidos por otras convenciones internacionales, tales como: Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, Convenio para la Conservación de la Biodiversidad y Protección de Áreas Silvestres Prioritarias de América Central, Convención sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias, Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques, Acuerdo Regional sobre

el Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos, Convención sobre el Mar Territorial y la Zona Contigua, Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe, Convenio para la protección de la Capa de Ozono, Convenio Constitutivo de la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero, por citar algunos (UICN, 2012).

PROTECCIÓN NACIONAL

En este apartado se abordarán de manera concreta las autoridades y cuerpos legales que intervienen en la tutela de los humedales, en aras de facilitar el entendimiento al lector en general, poniendo especial atención a dos instrumentos de política ambiental que de manera directa intervienen en la protección y aprovechamiento del ecosistema de humedal. En ese orden de ideas, se pone de manifiesto que el país ha desarrollado mecanismos jurídicos para atender las necesidades en materia de humedales y recientemente está por aprobar la política nacional de humedales, (actualmente en borrador) para su protección, pero no cuenta con una Ley específica de protección.

De ahí que existan diversas leyes que se relacionan y a su vez órganos desconcentrados que, desde en este momento resaltamos a la CONANP autoridad encargada de los humedales y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)- Comisión Nacional de Uso y Biodiversidad (CONABIO) como brazo investigador, la Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros, Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA), Dirección General de Forestal y Suelos (DGFS), son autoridades vinculadas para el uso y aprovechamiento de humedales, todos estos organismos sectorizados a la SEMARNAT.

En ese entendido, entre las autoridades del ramo que concurren en la atención de los humedales en México están: SEMARNAT, Secretaría de Marina (SEMAR), Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA); cada una de ellas asisten, debido a que gran parte de los humedales mexicanos se encuentran en zona costera, haciendo necesaria la injerencia de las dependencias citadas que conforman parte de la Administración Pública de los tres niveles de gobierno con sus respectivas autoridades homologas en el gobierno estatal y municipal. Esto es así, conforme al contenido del artículo 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) sobre la conocida "conurrencia ambiental".

Ahora bien, los humedales como elemento integral del ambiente, encuentra su asidero en la CPEUM en los artículos 4, 25, 27, 48, 73 y 115; que son las bases que fundamentan jurídicamente la prevención, preservación y protección de los humedales. A saber de contenido siguiente:

El artículo 4º de la CPEUM menciona que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, así como que el Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque. Cabe destacar que en México a partir de junio de 2013 existe la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, LFRA, que servirá para atender este comentario.

El artículo 25 CPEUM, párrafo 6° especifica que la rectoría económica del Estado y señala:

“Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.”

El artículo 27 párrafo tercero de la CPEUM señala en lo que nos interesa exponer:

“La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la ley reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad rural; para el fomento de la agricultura, de la ganadería, de la silvicultura y de las demás actividades económicas en el medio rural, y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad”

Y el párrafo cuarto del mismo artículo 27 menciona:

“Corresponde a la Nación el dominio directo de todos los recursos naturales de la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas; de todos los minerales o substancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos, constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, tales como los minerales de los que se extraigan metales y metaloides utilizados en la industria; los yacimientos de piedras preciosas, de sal de gema y las salinas formadas directamente por las aguas marinas; los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación necesite trabajos subterráneos; los yacimientos minerales u orgánicos de materias susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes; los combustibles minerales sólidos; el petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos; y el espacio situado sobre el territorio nacional, en la extensión y términos que fije el Derecho Internacional”

El artículo 73 inciso G de la fracción XXIX de la CPEUM establece las facultades a la concurrencia de los tres niveles de gobierno a legislar en materia ambiental, como ya se comentó anteriormente y en la fracción XVII refiere sus facultades para expedir leyes sobre uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal. El artículo

115 constitucional, da la entrada a que los municipios administren zonas de reserva ecológica, menciona:

“Los municipios, en los términos de las leyes federales y estatales relativas, están facultados para formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal; participar en la creación y administración de sus reservas territoriales y zonas de reservas ecológicas, así como controlar y vigilar el uso del suelo, para cuyo efecto expedirán los reglamentos y disposiciones administrativos necesarios.” Asimismo, en su fracción III especifica las funciones y servicios públicos a cargo de los municipios, entre los que se encuentran los relacionados con agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales”.

Una vez señaladas las bases constitucionales, se pasa a mencionar de manera concreta las leyes que forman parte del marco legal relacionadas con los humedales, sin que sea óbice aclarar que considerando las diversas leyes y la semblanza general de este capítulo del libro, se señala de manera concreta las leyes y se hará alusión a leyes innovadoras y relevantes actualmente en México. En ese entendido, encontramos: 1.- Ley General de Bienes Nacionales (LBN), 2.- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), 3.-Ley de Aguas Nacionales (LAN),4.- Ley Federal del Mar (LFM), 5.- Ley General de Vida Silvestre (LGVS), 6.- Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (LGPAS), 7.- Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (LDFS), 8.- Ley General de Cambio Climático (LGCC), 9.- Ley de Navegación y Comercio Marítimos (LNCM), y 10.- la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).

Aunado a lo anterior, resulta necesario mencionar a la Norma NOM-022-SEMAR-NAT-2003 que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zona de manglar, aun cuando no es una Ley, por lo cual resulta necesario considerarla dentro de un esquema de marco regulatorio. Máxime que regula el tema de los manglares y su método de compensación para el desarrollo de proyectos turísticos en zona costera dentro de la evaluación de impacto ambiental, lo que originó diversas interpretaciones de las autoridades, promoventes y sociedad civil organizada en defensa del medio ambiente, así como la Nueva Ley de Responsabilidad Ambiental, LFRS, que tiene injerencia cuando se ve afectada la esfera jurídica de la ciudadanía. Véase la siguiente figura en la que se aprecia de manera intencionada las diversas leyes en diversas posturas y tamaño, haciendo hincapié a los distintos esquemas de tutela que consideran al ecosistema de humedal.

Fig. 2: Ubicación de leyes y su interrelación en menor y mayor grado.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior, encontramos diversas leyes que, en mayor o menor rango, consideran la protección y preservación de los humedales; pero la LGEEPA sienta las bases y establece los principios de política ambiental y los principales instrumentos de aplicación política ambiental con relación a otros cuerpos legales.

Para el caso de nuestro estudio, procedemos a analizar conforme a los instrumentos de política ambiental comentados al inicio de este apartado. La LGEEPA no contiene ninguna regulación expresa sobre manglares; esta Ley, considera dos instrumentos de política ambiental que tienen importancia para la protección de los manglares y los humedales: el procedimiento de evaluación del impacto ambiental (EIA) y las normas oficiales mexicanas (NOM).

El procedimiento de evaluación del impacto ambiental es el instrumento de política ambiental mediante el cual, la SEMARNAT establece las condiciones a las que se sujetará la realización de obras y actividades reguladas, como bien lo precisa el artículo en el artículo 28 de la LGEEPA. Las fracciones IX y X de ese numeral establecen que los proyectos que se pretendan realizar y que pudieran afectar los ecosistemas costeros, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros, así como sus litorales o zonas federales deberán tener antes del inicio de cualquier obra o actividad con la autorización de impacto ambiental.

Para el caso de la NOM-022-SEMARNAT-2003, el segundo instrumento de política ambiental en la materia que señalamos, es importante mencionar que esta Norma,

refleja el mandato del artículo 60 Ter de la Ley General de Vida Silvestre,⁴ que causó interpretaciones en virtud de la vinculación de especies enlistadas en la NOM-059-SE-MARNAT-2007 y que por tratar de especies en peligro de extinción y tras categorías, que se llegó a confundir como especies forestales. La Norma detalla cómo hacer actividades en manglares, incluso talarlos y removerlos pero para efecto de obras de protección restauración, investigación o de conservación del propio manglar.

La NOM-022-SEMARNAT-2003, en su apartado 4.0 Especificaciones, señala que el manglar deberá preservarse como comunidad vegetal. En la evaluación de las solicitudes en materia de cambio de uso de suelo, autorización de aprovechamiento de la vida silvestre e impacto ambiental se deberá garantizar la integralidad del ecosistema.

Por lo anteriormente expuesto, si un proyecto señala que el mangle está en mal estado, es procedente hacer obras de remoción con el debido plan de manejo autorizado; esto con el objetivo de asegurar la protección y preservación del manglar y que no sean derribados. De ahí que todos los desarrollos turísticos o inmobiliarios en general, deberán de incorporar las áreas de manglar a sus proyectos de desarrollo en lugar de desplazarlos.

Como ya se mencionó con anterioridad, la legislación ambiental es variada y en distintos rangos y alcances existe la protección, preservación del ecosistema de humedales pero a su vez puede llegar a existir confusiones en su interpretación. Por ello, se hará un breve análisis en materia de protección nacional, situación que causó polémica entre los tomadores de decisión y de la sociedad civil organizada, respecto al ordenamiento que regula en concreto a los manglares, otro elemento de estudio en este tema.

Estudiosos de temas biológicos consideraron que el mangle era un recurso maderable y por ello sería la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la cual regularía a este; pero no fue así, toda vez, que haciendo análisis con el resto de leyes ambientales, se observa que el artículo 1 de la Ley General de Vida Silvestre es reglamentaria del párrafo tercero del artículo 27 y de la fracción XXIX, inciso G del artículo 73 constitucionales. Su objeto es establecer la "conurrencia ambiental" que ya hemos reiterado en diversas ocasiones. De ahí que sea esta Ley la que deba regular el mangle e íntima relación con la NOM-059-SEMARNAT-2001 que especifica las especies amenazadas o sujetas a riesgo o en peligro de extinción. Sin embargo, el criterio de la SEMARNAT es enfatizar que los manglares son recursos maderables regulados por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Por lo tanto, ha otorgado cambios de uso de suelo en zonas forestales y autorizaciones de aprovechamiento forestal a áreas cubiertas por manglares. El 7 de febrero de 2007, se adicionó el artículo 60 Ter de la Ley General de Vida Silvestre en la que pone de manifiesto evitar la tala y destrucción del manglar. Por lo anterior, se puede observar que los manglares son objeto

⁴ Artículo 60 TER.- **queda prohibida la remoción, relleno, transplante o poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural;** de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y aluminaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos. Se exceptuarán de la prohibición a que se refiere el párrafo anterior las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar.

de regulación de la Ley de Vida Silvestre y tienen una protección fuerte que prohíbe cualquier actividad que tale, destruye o remueva manglares sin autorización, así como cualquier actividad que afecte su integridad productiva e hidrológica.

En aras de señalar la innovación en instrumentos de protección de los humedales, tal como se mencionó en el inicio de este apartado, está la LGCC que establece –en el artículo 26 fracción XI– que deberán observarse los principios de conservación de los ecosistemas y su biodiversidad, dando prioridad a los humedales, manglares, arrecifes, dunas, zonas y lagunas costeras, que brindan servicios ambientales; lo cual resulta fundamental para reducir la vulnerabilidad. Así mismo se establece en el Artículo 30 fracción XVIII de LGCC que las dependencias y entidades de la administración pública federal centralizada y paraestatal, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias, dentro de la implementación de acciones para la adaptación deben considerar: “Fortalecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas terrestres, playas, costas y zona federal marítima terrestre, humedales, manglares, arrecifes, ecosistemas marinos y dulceacuícolas, mediante acciones para la restauración de la integridad y la conectividad ecológicas.”

De igual forma, en su fracción XXII se menciona la necesidad de establecer nuevas áreas naturales protegidas, corredores biológicos, y otras modalidades de conservación y zonas prioritarias de conservación ecológica para que se facilite el intercambio genético y se favorezca la adaptación natural de la biodiversidad al cambio climático, a través del mantenimiento e incremento de la cobertura vegetal nativa, de los humedales y otras medidas de manejo.

Así mismo, los tres niveles de gobierno en México, en el ámbito de su competencia promoverán el diseño y la elaboración de políticas y acciones de mitigación; particularmente para el Sector Agropecuario y forestal y suelos. Máxime que el Programa Nacional de Cambio Climático vigente en el país refiere a la importancia del desarrollo de acciones de mitigación y adaptación en este rubro.

El Artículo 34, fracción II, inciso d) de la LGCC establece que con el propósito de reducir las emisiones y promover la captura de carbono en el sector se, fortalecerán los esquemas de manejo sustentable y la restauración de bosques, selvas, humedales y ecosistemas costero-marinos, en particular los manglares y los arrecifes de coral.

Finalmente, los humedales registrados en México están bajo la protección de declaraciones de áreas naturales protegidas, un instrumento que le da certeza jurídica para fines de protección, conservación y preservación. Sin embargo, el instrumento de planeación que permite conseguir los fines es el programa de manejo de cada área natural, pero lamentablemente en México aún no todas las áreas naturales cuentan con su programa de manejo debidamente registrado, siendo una pendiente por parte del Estado Mexicano.

VISIÓN DE RESPONSABILIDAD SOCIAL

Es de interés en este apartado, se considere darle un enfoque con responsabilidad social. Sin embargo, los humedales son patrimonio natural tanto de mexicanos como de la humanidad y es cada individuo quien protegerá, preservará los humedales si quiere seguir conservando su patrimonio natural. De ahí que para concebir dicha

visión de responsabilidad social en los individuos –que incluye desde los funcionarios que están con cargos públicos hasta la ciudadanía en general– es importante exponer esta nueva concepción.

Según Ortega (2002) existen cuatro ámbitos en los que se contempla la responsabilidad social y el desarrollo humano individual. El primero es el ámbito del yo. El segundo el ámbito del ser, el tercero de consumir uno su propia biografía y el cuarto de ser responsable de esa biografía, sin afectar a los demás. Pero existen límites en que la sociedad le impone a la acción motivada solo por el interés individual. Por ejemplo, cuando disfrutamos del turismo de sol y playa en un Área Natural Protegida, en adelante, ANP, que existen arrecifes, por citar un ejemplo en México, el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicado en los municipios de Boca del Río y Veracruz, ambos del Estado de Veracruz, México o el Sistema de Lagunas de Sontecomapan en los Tuxtlas, ubicados en la zona de los Tuxtlas, al sur del Estado de Veracruz. En ese orden de ideas, el turista que asiste al ANP que no respeta las indicaciones de los guarda parques y destroza el arrecife o desecha residuos sobre la laguna de Sontecomapan, trayendo como consecuencia afectación a la fauna marina, afectaciones al arrecife, entre otros efectos negativos. Hay que pensar en una satisfacción personal de cuidado y en el ecosistema para hacer una convivencia armónica con la naturaleza, responsable y respetuosa. Sin embargo, debe reconocerse que esta acción obligará más adelante a otros a hacerse cargo, a través de saneamiento de aguas por excesos de químicos en agua y la afectación y riesgos de deteriorar al sistema de humedal o el arrecife, para el caso de los ejemplos que se planteó, para futuras generaciones, como consecuencia de una irresponsabilidad individual que ahora perjudica a terceros en el ejemplo planteado, demuestra que ese actuar sin pensar en el futuro pone precisamente en jaque el concepto de “Sustentabilidad” manejado desde Estocolmo hasta Río de Janeiro como “Preservar para el presente y futuras generaciones.

La responsabilidad social individual es la ética del otro, de la relación con los otros. La solidaridad parte con propias conductas, pero también importa la suerte de aquellos que por distintas razones enfrentan situaciones de carencias o de pobreza. La solidaridad se da en un plano de gratitud, donde importa el otro sin preguntar por qué y sin instrumentalizarlo. A ese respecto, conforme a Verduzco (Verduzco, 2012) se crean lazos de consciencia individual que sumada se hace una consciencia colectiva.

En México, históricamente ha costado valorar a los otros, a los otros indígenas, a las otras mujeres, a los otros que no son de la propia religión, clase social o nivel educacional.

En el tercer ámbito, está la perspectiva normativa del desarrollo humano, en donde lo cotidiano es la familia; la comunidad y el país están muy influidos por las realidades globales o de los centros de poder que tienden a predominar en la economía, política, o la industria cultural. En un mundo global la responsabilidad social no se centra en el “mundo país”. Esta dimensión que se debe desarrollar en un futuro. Pero es necesario señalar en forma inmediata que lo local es cada vez más importante en la vida cotidiana a medida que aumentan las relaciones globales. Si se abandona el ámbito de lo local, regional o nacional por la inserción global, se estaría perdiendo el sentimiento de pertenencia que rodea a todos los seres humanos de la familia.

Por último, el cuarto ámbito ha sido modificado, según Ortega (Ortega, 2002), se refiere a las necesidades de una ética y valores propios en el quehacer empresarial, y nos atrevemos a decir en este apartado, también a nivel de administraciones públicas; se puede hacer el trabajo de rutina sin visión y sin futuro convirtiéndolo en un fin y no es un medio, volviéndose autónomas, es decir, pensar en sí mismos sin considerar que sus acciones en el ámbito de sus competencias laborales por la investidura de funcionario pueden lograr cambios a nivel de fortalecer principios de legalidad, justicia, equidad entre otros. O bien se puede dar un sentido último de servicio a los demás y que sea esta acción lo que dé sentido de realización y satisfacción profesional a la propia vida.

Lo anteriormente expuesto, podemos ubicar que una de las mejores acciones de responsabilidad social para preservar, conservar y proteger a los humedales, es conocer qué es, su funcionalidad ecosistémica y de belleza paisajística dentro del territorio nacional para entonces poder valorar el recurso y beneficio ambiental del cual estamos intrínsecamente relacionados para la supervivencia en el planeta.

Por lo expuesto anteriormente expuesto, resulta de interés dar a conocer que dentro del esquema de tutela de los recursos naturales en el país, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en adelante, LGEEPA, señala en el artículo 15 de la Política Ambiental lo siguiente:

"[...] ARTÍCULO 15.- Para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios: III.- Las autoridades y los particulares deben asumir la responsabilidad de la protección del equilibrio ecológico; V.- La responsabilidad respecto al equilibrio ecológico, comprende tanto las condiciones presentes como las que determinarán la calidad de la vida de las futuras generaciones.[...]"

Lo que demuestra que es obligatoria al estar en la Ley.

Otra de las acciones que también deben señalarse en este apartado es que a partir de 2013 se cuenta con una Programa Nacional de la Política de los Humedales y se considera la coordinación con el Centro de Capacitación para el Desarrollo Sustentable, CECADESU, (sectorizado a SEMARNAT) como accionante de la impartición de educación con temas relacionados a la protección de los humedales en México. Con el programa y con la consideración de CECADESU como un elemento de operación para promover la participación social comprometida, a través de los procesos de comunicación, educación, concienciación y participación, relativos a la conservación y uso sustentable de los humedales. México contribuye a la aplicación de la Convención RAMSAR, ya que CECADESU representa la aplicación en el ámbito nacional del "Programa sobre comunicación, educación, concienciación y participación para 2009 -2015" (Programa CECOP). (CONANP PNH 2013)

Muchas recomendaciones en el tema de turismo de naturaleza de bajo impacto han sido dadas por las universidades y por organismos como por organismos internacionales y nacionales vinculados con la protección, conservación y preservación de

los humedales.⁵ En ese sentido, el Estado Mexicano tiene la obligación de promover acciones de responsabilidad individual y colectiva a través de los programas ya instaurados por la CONANP como es el Programa de Empleo Temporal (PET) y manejar una línea de responsabilidad social, no solo de ganar dinero por conservar, sino hacerse de educación e identidad nacional en pro del patrimonio natural de México y de la humanidad. En ese mismo tenor, se recomienda que la Secretaría de Educación Pública (SEP) debe considerar llevar a cabo el tema de la responsabilidad social y sustentabilidad dentro o a la par de la materia de civismo en los programas de estudio de los niveles de educación básica, media y superior.

CONCLUSIONES

En México en los últimos diez años se han desarrollado diversos instrumentos jurídicos, programas y estrategias nacionales, así como organizado autoridades facultadas como es la CONANP para la protección, conservación y preservación de los humedales en congruencia con la firma de diversos tratados internacionales. Sin embargo, no han sido llevados a la práctica en su totalidad.

La experiencia negativa y el caso más representativo para México es que del 2000-2012 el Estado mexicano, a través de sus autoridades, otorgara diversas autorizaciones de Evaluación de Impacto Ambiental para el desarrollo de turismo en zona de costas, como fue la zona de la Quintana Roo, donde no se respetaron las medidas de mitigación e incluso confundieron la legislación, creando polémica entre la autoridad, promoventes y sociedad civil organizada al considerar el mangle como una especie forestal y no una especie sujeta a protección, lo que mostró el claro ejemplo “de lo que no se debe hacer” y otorgarse autorizaciones que afectaron el ecosistema de manglar al sur del país. El espíritu de la ley es regular y solventar los problemas, pero hay que estar atentos a las necesidades que son cambiantes ante la globalización que impera en nuestros días.

Es vital que si se quiere conservar un patrimonio nacional y de la humanidad, consideremos acciones de responsabilidad social y respeto por las leyes, un auténtico “Estado de Derecho”, que debe surgir de forma individual y al interior de cualquier organización: familias, asociaciones, empresas, y en los gobiernos; impulsadas en todo momento por el Estado Mexicano a través de sus programas de educación, conservación y desarrollo económico para después manifestarse en un mejor país y con ello incidir en el cuidado medio ambiental de sus recursos naturales. Lo anterior podrá ser el inicio y base para que las acciones de responsabilidad social permeen en la ciudadanía y en las administraciones públicas de todos los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) y así, efectivamente, sea posible proteger, conservar y preservar a los humedales.

La fijación del actual gobierno federal mexicano durante el 2013 ha sido emitir un programa de política nacional de humedales que considera involucrarse con la

⁵Para mayor información véase el apartado de ética y dimensiones sociales en la OMT- The Ethics and Social Dimensions of Tourism Programme (ESDT) of the World Tourism Organization (UNWTO). Disponible en: <http://ethics.unwto.org/>. Consultado el 27 de agosto de 2013.

política educativa pero no considera el tema de responsabilidad social y medio ambiental, esta carencia o laguna de acciones se alejaba cada vez de valorar el patrimonio natural del país.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- DE LA LANZA ESPINO, G. (2012). La importancia de los Humedales en México, UNAM. Disponible en: <http://www.smf.mx/C-Global/webHumedales.htm>
- MORENO-CASASOLA, P. (2006). Humedales costeros. Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal. P. Moreno-Casasola, Peresbarbosa, E.R. y A.C. Travieso-Bello., CONANP y Gobierno del Estado de Veracruz. 1: 151-181. Xalapa, Veracruz, México.
- MANUAL DE LA CONVENCION DE RAMSAR (2006). Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4ª edición. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar. Disponible en www.conanp.gob.mx.
- ORTEGA R., E. (2002). Desarrollo Humano y Responsabilidad Social: Una ética secular. Ponencia en Sesión Plenaria de la OTRA Feria organizada por PreHumana el 8 de noviembre de 2002. Santiago de Chile.
- PEÑA CHACÓN, M. (2007). Tutela Jurídica de los ecosistemas de Humedal-LEX, Difusión y Análisis "Suplemento Ecología".
- SEMARNAT (2013). Política Nacional de Humedales, México. SEMARNAT.
- VERDUZCO ÁVILA, L. (2012). Innovación en Responsabilidad Social "De la Responsabilidad Social Integral al Desarrollo Sustentable", Fondo Editorial Observatorio Económico y Social Anáhuac Mayab. México.
- UICN (2012), Convenios Internacionales relacionados con los Humedales y el Medio Marino de Mesoamérica, 2012. México.

Legisgrafía

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Ley General de Bienes Nacionales
- Ley General de Cambio Climático
- Ley General de Vida Silvestre
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley Federal del Mar
- Ley Federal de Responsabilidad Ambiental
- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003

Internet:

- www.semarnat.gob.mx
- www.conanp.gob.mx
- www.conabio.gob.mx
- www.ramsar.org
- www.inecc.gob.mx
- <http://www2.unwto.org/es> –Organización Mundial de Turismo–

Gestión de humedales españoles y mexicanos Apuesta conjunta por su futuro

Antonio Sastre Merlín, Isis Arlene Díaz Carrión y
Jorge Ramírez Hernández (Coordinación)

El presente volumen, complemento en cierto modo del que vio la luz en enero de 2014 (*Humedales y Turismo: aprendizaje para su conservación en España y en México*; Universidad de Alcalá, 2013), vuelve a poner el foco en esos parajes tan singulares en su comportamiento como frágiles para su conservación –a la vez que valiosos por los múltiples beneficios tangibles que generan en su entorno–, que denominamos *humedales*.

Si en aquella ocasión se ponía énfasis en la incidencia del turismo, en esta ocasión se pone el acento en la dinámica de los procesos naturales y sociales que condicionan su gestión y/o manejo, incluyendo tanto humedales históricos –como los muy famosos de Xochimilco y Tláhuac, que tanto sorprendieron a los colonizadores españoles–, lagunas costeras cuyo futuro bien se antoja amenazado por los efectos del cambio climático –como la del Mar Menor– o por el éxito del turismo de aventura –como los humedales de la Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas–, humedales ubicados en lagunas volcánicas –como los que salpican la comarca del Campo de Calatrava– o humedales de menor relevancia pero con significación ambiental –como el manchego de las Salinas de Pinilla (donde nace el mítico y quijotesco Guadiana) o el de las circunstanciales Lagunas de Puebla de Beleña, en el límite meridional del pediplano desarrollado al pie de Somosierra-Alto Rey–.

Este volumen, además de humedales naturales, recoge la casuística de algunos humedales artificiales, concebidos para afrontar la depuración de las aguas utilizadas en la actividad urbana pero utilizando las enseñanzas derivadas del estudio de los humedales naturales. Como no podría ser de otra manera, cierran el volumen sendos ensayos relacionados con el régimen jurídico de los humedales en España y México.

Considerando que la planificación hidrológica es una metódica sólidamente implantada en España y que lleva el mismo camino en la República Mexicana, la publicación de este libro en el tránsito entre 2015 y 2016 resulta especialmente oportuna por cuanto el 1 de enero de 2016 dará comienzo en España y en toda la Unión Europea el ciclo de planificación 2016-2021 al amparo de la Directiva Marco del Agua, ya plenamente implantada en todo el territorio de la Unión, uno de cuyos objetivos específicos es incorporar de manera efectiva la protección de los espacios naturales que dependan directamente del agua, como es el caso incuestionable de los humedales, en la planificación hidrológica.



Universidad
de Alcalá