

ACTA DE EVALUACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL
(FOR EVALUATION OF THE ACT DOCTORAL THESIS)

Año académico (academic year): 2016/17

DOCTORANDO (candidate PHD): **GONZÁLEZ RIVERA, MARISELA**
D.N.I./PASAPORTE (Id.Passport): ******01378**

REGISTRACIÓN DE ECOSISTEMAS (Academic Committee of the Programme): **D413 ECOLOGÍA, CONSERVACIÓN Y DEPARTAMENTO DE (Department): CIENCIAS DE LA VIDA**
TITULACIÓN DE DOCTOR EN (Phd title): **DOCTOR/A POR LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

En el día de hoy 17/07/17, reunido el tribunal de evaluación, constituido por los miembros que suscriben el presente Acta, el aspirante defendió su Tesis Doctoral **con Mención Internacional** (In today assessment met the court, consisting of the members who signed this Act, the candidate defended his doctoral thesis with mention as International Doctorate), elaborada bajo la dirección de (prepared under the direction of) ANTONIO GÓMEZ SAL.

Sobre el siguiente tema (Title of the doctoral thesis): **SOSTENIBILIDAD Y TERRITORIO. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS EN LA REGIÓN SURORIENTAL DE PUERTO RICO**

Finalizada la defensa y discusión de la tesis, el tribunal acordó otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL¹ de **(no apto, aprobado, notable y sobresaliente)** (After the defense and defense of the thesis, the court agreed to grant the GLOBAL RATING (fail, pass, good and excellent): SOBRESALIENTE

Alcalá de Henares, a 17 de Julio de 2017

Fdo. (Signed): JOSE A. GONZALEZ NUVOA

Fdo. (Signed): HERREDES MOLINA

Fdo. (Signed): LANTANA DEPA F. de CASTRO

FIRMA DEL ALUMNO (candidate's signature),

Fdo. (Signed): Marisela Gonzalez Rivera

Con fecha 24 de Julio de 2017 la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado, a la vista de los votos emitidos de manera anónima por el tribunal que ha juzgado la tesis, resuelve:

Conceder la Mención de "Cum Laude"
 No conceder la Mención de "Cum Laude"

La Secretaria de la Comisión Delegada
[Signature]

¹ La calificación podrá ser "no apto" "aprobado" "notable" y "sobresaliente". El tribunal podrá otorgar la mención de "cum laude" si la calificación global es de sobresaliente y se emite en tal sentido el voto secreto positivo por unanimidad. (The grade may be "fail" "pass" "good" or "excellent". The panel may confer the distinction of "cum laude" if the overall grade is "Excellent" and has been awarded unanimously as such after secret voting.).

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

INCIDENCIAS / OBSERVACIONES:
(Incidents

/

Comments)



Universidad
de Alcalá

COMISIÓN DE ESTUDIOS OFICIALES
DE POSGRADO Y DOCTORADO

En aplicación del art. 14.7 del RD. 99/2011 y el art. 14 del Reglamento de Elaboración, Autorización y Defensa de la Tesis Doctoral, la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado y Doctorado, en sesión pública de fecha 24 de julio, procedió al escrutinio de los votos emitidos por los miembros del tribunal de la tesis defendida por *GONZÁLEZ RIVERA, MARISELA*, el día 17 de julio de 2017, titulada *SOSTENIBILIDAD Y TERRITORIO. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS EN LA REGIÓN SURORIENTAL DE PUERTO RICO*, para determinar, si a la misma, se le concede la mención "cum laude", arrojando como resultado el voto favorable de todos los miembros del tribunal.

Por lo tanto, la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado resuelve otorgar a dicha tesis la

MENCIÓN "CUM LAUDE"

Alcalá de Henares, 27 julio de 2017
EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE ESTUDIOS
OFICIALES DE POSGRADO Y DOCTORADO



Firmado digitalmente por VELASCO
PEREZ JUAN RAMON - DNI
03087239H
Fecha: 2017.07.30 18:17:03 +02'00'

Juan Ramón Velasco Pérez

Copia por e-mail a:

Doctorando: GONZÁLEZ RIVERA, MARISELA

Secretario del Tribunal: JOSÉ GONZÁLEZ NOVOA

Director de Tesis: ANTONIO GÓMEZ SAL



Universidad
de Alcalá

ESCUELA DE DOCTORADO
Servicio de Estudios Oficiales de
Posgrado

DILIGENCIA DE DEPÓSITO DE TESIS.

Comprobado que el expediente académico de D./D^a _____
reúne los requisitos exigidos para la presentación de la Tesis, de acuerdo a la normativa vigente, y habiendo
presentado la misma en formato: soporte electrónico impreso en papel, para el depósito de la
misma, en el Servicio de Estudios Oficiales de Posgrado, con el nº de páginas: _____ se procede, con
fecha de hoy a registrar el depósito de la tesis.

Alcalá de Henares a _____ de _____ de 20 _____



Fdo. El Funcionario



Sostenibilidad y Territorio

Propuestas para la evaluación y gestión sostenible de los servicios de los ecosistemas en la región suroriental de Puerto Rico.

TESIS DOCTORAL
Marisela González Rivera

Programa de Doctorado: Cambio Global y Desarrollo Sostenible

2017



**DEPARTAMENTO DE
CIENCIAS DE LA VIDA**
Edificio de Ciencias
Campus Universitario
28805 Alcalá de Henares (Madrid)
Telf. +34918854927
Fax: +34918854929
E-mail: dpto.ccvida@uah.es

Programa de doctorado:
Cambio Global y Desarrollo Sostenible

Sostenibilidad y Territorio.
Propuestas para la evaluación y gestión sostenible de los servicios de los
ecosistemas en la región suroriental de Puerto Rico.

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de Alcalá

Marisela González Rivera

Director: Dr. Antonio Gómez Sal


Alcalá de Henares, Abril 2017

Antonio Gómez Sal, Catedrático de Ecología de la Universidad de Alcalá,

Hace constar:

Que el trabajo descrito en la presente memoria, titulado "**Sostenibilidad y Territorio. Propuestas para la evaluación y gestión sostenible de los servicios de los ecosistemas en la región suroriental de Puerto Rico**", ha sido realizado bajo su dirección por D. Marisela González Rivera en el Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de Alcalá, y reúne todos los requisitos necesarios para su aprobación como Tesis Doctoral.

Alcalá de Henares, a 25 de abril de dos mil diecisiete.


Dr. Antonio Gómez Sal
DIRECTOR DE LA TESIS



LUISA DÍAZ ARANDA, Profesora Titular y Directora en funciones del Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de Alcalá,

INFORMA:

Que el trabajo descrito en la presente memoria, titulado "**Sostenibilidad y Territorio. Propuestas para la evaluación y gestión sostenible de los servicios de los ecosistemas en la región suroriental de Puerto Rico**", ha sido realizado por D.^a Marisela González Rivera dentro del Programa de Doctorado Cambio Global y Desarrollo Sostenible (D249), reúne todos los requisitos necesarios para su aprobación como Tesis doctoral, por acuerdo del Consejo de Departamento celebrado el día 26 de abril de 2017

Alcalá de Henares, 26 de abril de 2017



Dedicatoria

Primeramente a Dios, porque me ha dado la vida, la fuerza para continuar contra viento y marea, y permitirme alcanzar una importante meta en mi formación profesional. A mi hija Coral Amanda, te amo, siempre has sido mi inspiración y mi motivación para completar todos los proyectos que me he propuesto. Esto es para ti, para que nunca te rindas por más lejos que veas tus sueños, tú puedes lograr todo lo que te propongas hacer en la vida.

A mis padres y abuela Mery, los amo y les dedico este logro porque de ustedes ha dependido llegar a esta meta.

Agradecimientos

Primeramente a Dios, gracias por sostenerme en tus manos y permitirme alcanzar esta meta pese a tantas situaciones.... Agradezco a mis padres por su gran apoyo, siempre confiaron en mí y nunca dudaron de que lo pudiera lograr. Agradezco a mi abuela Mery, en esta vida he recibido tanto amor de tu parte que es imposible imaginarme como sería mi vida sin ti. A mi hija, gracias por existir, por ser el ser humano más importante que existe en este planeta, para ti quiero un Puerto Rico mejor, eres mi inspiración. A mi esposo David, gracias por tu apoyo incondicional, en medio de momentos difíciles de cambios me ayudaste a seguir y hacer posible este momento de mi vida.

Quiero agradecer especialmente a mi director de tesis y, luego de tantos años, mi amigo, Dr. Antonio Gómez Sal. Gracias por toda tu ayuda, por tu paciencia, por creer en mí por tantos años y nunca darme por vencida. También agradezco a Humildad, tu esposa, quien fue conmigo una amiga y junto contigo, me brindaron calor familiar durante mi estancia en Alcalá de Henares.

En el Departamento de Ciencias de la Vida, debo agradecer a Ana Guerrero, gracias por tu ayuda desde el 2007, cuando por primera vez me diste la mano en el departamento y siempre me ayudaste en todo lo que estaba a tu alcance. A Dra. Josabel Belure, gracias por tu ánimo, por mostrarme tu pasión por la ciencia y por supuesto, por tu despacho ☺ .

Agradezco a Elena Velado por su apoyo técnico, disfrute mucho viendo tu pasión por todo lo que te propones, desde tu tesis hasta los detalles técnicos de otras tesis en las que gustosamente colaboras. También quiero agradecer al Dr. Miguel Ángel Rodríguez, por su apoyo técnico. Agradezco a Dr. Lorenzo Pérez Camacho por su asistencia y a todos los del Departamento de Ciencias de la Vida que de alguna manera me dieron ánimo para seguir.

Un agradecimiento especial a mi amigo Leslie Rodríguez, eres mi hermano, mi amigo, mi mentor, un compañero de lucha, gracias por ayudarme con la planificación estratégica de la Ciudad de Caguas y de mi formación profesional.

Al Dr. Miguel Muñoz de la UPR-M y a los compañeros del NRCS, Manuel Matos y Mario Rodríguez, gracias por su colaboración.

¡Gracias! A mi amigo Augusto Gandía por las fotografías de portada y de introducción a los capítulos.

Tabla de Contenido

Capítulo I Introducción

1	Introducción, planteamiento general y objetivos	2
1.1	Marco teórico y antecedentes.....	2
1.2	Servicios de los ecosistema, cambio global y adaptación de los seres humanos a las posibilidades de los ecosistemas.....	3
2	Ecología del paisaje y cambios históricos a la composición del mosaico geográfico de Puerto Rico	7
2.1	La dimensión ecosistémica apunta al desarrollo endógeno sostenible en Puerto Rico	17
2.2	Sostenibilidad ecológica para Puerto Rico	20
3	Objetivo general y líneas de investigación	23
3.1	Preguntas de investigación	25
3.2	Hipótesis general	26
4	Organización de la memoria	26
4.1	Apotaciones esperadas	27
5	Bibliografía	29

Capítulo II Métodos generales

1	Fisiografía general de Puerto Rico	36
2	Selección del área de estudio	38
2.1	Área geográfica para evaluar el potencial de producción agraria sostenible	38
2.2	Descripción fisio-geográfica de la región de estudio	44
3	Áreas de estudio de los diferentes capítulos	48
4	Métodos generales por capítulos	50
4.1	Sistema de Información Geográfica	50
4.2	Métodos empleados en el capítulo III	52
4.3	Métodos empleados en el capítulo IV	56
4.4	Métodos empleados en el capítulo V	57
4.5	Métodos empleados en el capítulo VI	59
5	Bibliografía	61

Capítulo III Representación territorial de escenarios de sostenibilidad y su aplicación a la prevención de riesgos naturales.

Resumen	65
1 Introducción	66
1.1 Servicios de los ecosistemas: mitigación de desastres	69
1.2 Mitigación de Inundaciones	71
1.3 Mitigación de Vientos Fuertes (tormentas y huracanes).....	72
1.4 Sostenibilidad de los usos humanos y el papel de los ecosistemas como mitigadores	73
1.5 Objetivos	72
2 Métodos y área de estudio	77
2.1 Área de estudio: Cuenca Hidrográfica del Río Maunabo, Puerto Rico	79
2.2 Mapa base de cubierta de suelos para las clases seleccionadas en el ejercicio de sostenibilidad	80
2.3 Modelo de Sostenibilidad Ecológica	82
2.4 Elaboración del Mapa de Sostenibilidad Ecológica.....	92
2.5 Integridad Ecológica (aproximación a través del uso de la Cobertura Vegetal).....	100
2.6 Vientos fuertes e inundaciones, integración con el análisis de sostenibilidad y cobertura vegetal.....	102
3 Resultados	105
3.1 Proyección en el territorio de Escenarios de Sostenibilidad. Áreas representativas	105
3.2 Patrón de la cobertura vegetal y el MSE	106
3.3 Relación MSE - Cobertura Vegetal – Riesgos Naturales	107
4 Discusión	109
4.1 Análisis de la efectividad del método	109
4.2 Los servicios de los ecosistemas como mitigadores de riesgos naturales, evidencias deducidas del análisis	110
5 Conclusiones	113
5.1 Confirmaciones	113
5.1 Líneas de análisis futuros y recomendaciones	115
6 Bibliografía	116
Anejos	123

Capítulo IV El servicio de regulación de la erosión hídrica en la cuenca hidrográfica de los ríos Gurabo/Valenciano. Estimación mediante SIG.

Resumen	125
1 Introducción	126
1.1 Servicios de regulación para el control de erosión de suelos	128
1.2 Relevancia de la evaluación de los servicios ecosistémicos para la ordenación del territorio	131
1.3 La escala en la evaluación de los servicios ecosistémicos	133
1.4 Objetivos	135
2 Materiales y métodos	136
2.1 Área de estudio	136
2.2 Esquema conceptual y metodológico	137
2.3 Modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos en los escenarios.....	139
2.4 Selección de clasificaciones generales para la estimación del Factor C en el escenario actual.....	144
2.5 Selección de clasificaciones generales para la estimación del Factor C en el escenario futuro.....	148
2.6 Cambio de uso de suelos	152
3 Resultados	153
3.1 Aplicación del método USLE/RUSLE a ambos escenarios.....	153
3.2 Deducciones de los escenarios: Pérdida de suelo en ambos escenarios	155
4 Discusión	156
4.1 Aumento de sedimento en el embalse	157
4.2 Valoración de la cubierta vegetal	158
4.2 Evaluación de los ecosistemas para la planificación del territorio	160
5 Conclusiones	163
5.1 Líneas de estudio futuras.....	164
6 Bibliografía	165

Capítulo V Definición de modelos de agroecosistemas para la provisión de productos básicos en la región centro-sur oriental de Puerto Rico.

Resumen	172
1 Introducción	173
1.1 Puerto Rico y su producción agrícola	173
1.2 Agroecosistemas para la seguridad alimentaria	175
1.3 Posibles diservicios de la agricultura	178
1.4 Objetivos	181
2 Métodos	181
2.1 Área de estudio	181
2.2 Secuencia metodológica	184
2.3 Fases de la metodología para alcanzar el objetivo	185
2.4 Selección de las especies para ensayo regional y requisitos	186
2.4.1 Adquisición de datos y elaboración de modelos cartográficos	191
3 Resultados y discusión	193
3.1 Área potencial teórica vs área potencial disponible	193
3.2 Sectores de aptitud agrícola del territorio	198
3.2.1 Análisis de probabilidad de clases	200
3.2.1.1 Cubierta vegetal actual en los sectores de aptitud agroecológica	202
3.3 Estimación de los servicios de los ecosistemas a escala regional	204
3.3.1 Sinergias y conflictos entre los servicios	211
3.4 Avanzando hacia la suficiencia alimentaria	213
3.5 Combinación de especies para su implantación en el territorio	215
4 Conclusiones	229
4.1 Análisis del potencial del método	229
4.2 Líneas de estudio abiertas para futuras investigaciones	229
5 Bibliografía	231
Anejo	236

Capítulo VI Planificación estratégica para la sostenibilidad: experiencia en el Municipio de Caguas, PR

Resumen	240
1 Antecedentes	241
1.1 El contexto actual del desarrollo y su repercusión a la sociedad de Puerto Rico.....	241
1.2. El municipio de Caguas, un ensayo para el avance hacia la sostenibilidad y la democracia participativa	246
1.3 Objetivo general.....	248
2 Métodos: la definición de un programa estratégico para el desarrollo local	249
2.1 Área de aplicación: Municipio de Caguas.....	249
2.2 El proceso de planificación estratégica de Caguas	252
2.3 Percepción pública de la situación actual: Hechos y Retos	256
2.4 Selección de modelo de Desarrollo Sostenible para la planificación estratégica.....	261
2.4.1. Los lineamientos estratégicos.....	263
3 Resultados	267
3.1 Percepción del desarrollo en los barrios de Caguas. Evaluación de la importancia de las dimensiones	267
3.2 Planificación estratégica para la Ciudad. Lineamientos.....	269
3.2.1. Marcos de referencia para el establecimiento de los lineamientos.....	270
3.2.2. Discusión de los lineamientos para la Ciudad de Caguas	271
3.3 Lineamientos finales del Plan Estratégico de Nueva Generación.....	282
4 Conclusión	286
4.1 Planificación desde los elementos multidimensionales de la sostenibilidad	286
5 Bibliografía	287
Capítulo VII Conclusiones generales	291
General Conclusions	297

Resumen

La presente tesis doctoral tiene como fin proponer métodos de evaluación de la sostenibilidad, en su acepción ecológica o eco-social, que incorporan también estimaciones de la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios para el bienestar humano, de acuerdo con el esquema de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. El área de estudio es la región centro-sur oriental de Puerto Rico. Se ensayan distintos procedimientos de análisis y propuesta de soluciones que tienen en común, la relación entre sostenibilidad y planificación territorial. La selección de casos estudiados se realizó en función de su importancia para el país y para la región estudiada, y por ser representativos de distintos tipos de servicios ecosistémicos. En los distintos capítulos se presentan los siguientes estudios: un método para representar en el territorio los escenarios de sostenibilidad y su papel en la prevención de riesgos naturales; la relación entre usos del suelo y regulación de la erosión en una cuenca hidrográfica; la aptitud del territorio para acoger distintos tipos de agroecosistemas sostenibles, capaces de abastecer los productos básicos más demandados y por último un procedimiento para incluir las dimensiones de la sostenibilidad eco-social (con un enfoque de socio-ecosistema) en la planificación estratégica municipal.

Con el fin de diagnosticar la sostenibilidad del uso del territorio y relacionarlo con las áreas de riesgos a inundaciones o vientos fuertes, se identificaron modelos de sostenibilidad tradicional, sensata, insostenible y empobrecido. El análisis arrojó que en las áreas que representan peligro de inundación, el modelo de usos de los suelos que predomina corresponde con el escenario “insostenible”. Sin embargo las áreas de mayor potencial a sufrir daños por vientos fuertes, tienen una cubierta vegetal importante, que se corresponde al uso del escenario sostenible sensato, efectivo para la mitigación de daños a los asentamientos humanos. Los resultados permiten recomendar estrategias para el *Plan de Mitigación de Riesgos por peligros naturales*.

El análisis del servicio de regulación de la erosión en una cuenca hidrográfica se basó en la comparación de dos escenarios, uno con las cubiertas vegetales actuales y otro con los cambios territoriales máximos permitidos por el Plan de Usos de Terrenos de PR. Se identificó un incremento de 28% en la erosión por cambios en los usos del suelo, sin medidas de conservación, lo que representa una elevada tasa de sedimentación y un posible incremento de los costes de remediación por dragado.

La metodología para generar combinaciones de especies cultivables (agroecosistemas potenciales) capaces de abastecer los productos más demandados, tuvo en cuenta la necesidad de preservar los servicios de los ecosistemas existentes (principalmente de regulación) que fueron evaluados. Con este propósito se ensayó una metodología con herramientas de SIG, estadística multivariante y convencional, adecuada para manejar las variables óptimas para la siembra de 10 especies de consumo local y establecer clases de aptitud del territorio para distintos agroecosistemas teóricos. A partir de esos resultados, se identificaron siete grupos con combinaciones de especies que actuarán como referencia para la creación de nuevos agroecosistemas, intentando que sean compatibles con la preservación de los ecosistemas de los ecosistemas actuales evaluados.

Por último se analiza una estrategia para incorporar la perspectiva eco-social del desarrollo sostenible en la planificación estratégica a escala local. Se describe cómo se llevó a cabo el proceso de gobernanza democrática y el avance hacia la sostenibilidad ecológica en el municipio de Caguas, para el cual se establecieron metas basadas en las dimensiones de la sostenibilidad eco-social. El objetivo fue impulsar el desarrollo sostenible en la escala local, considerando la compatibilidad de los sistemas de producción con los valores sociales y ecológicos, y fomentando una economía al servicio de este modelo de desarrollo. Mediante un amplio esfuerzo colaborativo entre la sociedad local y la administración pública, se crearon seis lineamientos estratégicos desde el modelo de sostenibilidad ecológica elegido. A partir de estos, nace el *Plan Estratégico de Nueva Generación de la Ciudad de Caguas*, el cual contiene las estrategias de dirección que forjarán el futuro de la Ciudad.

Abstract

The purpose of this dissertation is to propose methods of assessing sustainability in an ecological or eco-social sense, which also incorporate estimates of the capacity of ecosystems to provide services for human well-being, in accordance with the Millennium Ecosystem Assessment scheme. The study area is the south-central eastern region of Puerto Rico. Different procedures of analysis and proposal of solutions are tested that have in common the relation between sustainability and territorial planning. The selection of cases studied was performed according to its importance for the country, for the region studied and for being representation of different types of ecosystem services. The distinct chapters present the following studies: a method for representing sustainability scenarios in the territory and their role in the prevention of natural hazards; the relationship between land use and regulation of erosion in a river basin; the ability of the territory to accommodate different types of sustainable agroecosystems, capable of supplying the most demanded commodities and lastly a procedure to include the dimensions of eco-social sustainability (with a socio-ecosystem approach) in municipal strategic planning.

In order to diagnose the sustainability of land use and to relate it to flood risk areas or strong winds, traditional, sensible, unsustainable and impoverished sustainability models were identified. The analysis shows that within the areas which represent danger of flooding, the model of land uses that predominates corresponds to the "unsustainable" scenario. However, the areas with the greatest potential to suffer damage due to strong winds have a significant vegetation cover, which corresponds to the sensible and effective sustainable scenario for mitigation of damage to human settlements. The results allow recommending strategies for the Hazard Mitigation Plan.

The analysis of the erosion regulation service in a river basin was based on the comparison of two scenarios, one with the current vegetation cover and the other with the maximum territorial changes allowed by the PR Land Use Plan. A

28% increase in erosion due to changes in land use was identified, without conservation measures, which represents a high sedimentation rate in the important reservoir to which the basin is supplied and an increase in dredging remediation costs.

The methodology to generate combinations of cultivable species (potential agroecosystems) capable of supplying the most demanded products, took into account the need to preserve the services of the existing ecosystems (mainly regulation) that were evaluated. For this purpose, a methodology with GIS tools, multivariate and conventional statistics, were used to manage the optimal variables for the sowing of 10 species of local consumption and to establish territorial proficiency classes for different theoretical agroecosystems. Seven groups were identified with combinations of species that will act as a reference for the creation of new agroecosystems, in order to be compatible with the preservation of the eco-services of the ecosystems currently evaluated.

Finally, a strategy for incorporating the eco-social perspective of sustainable development into strategic planning at the local level is analyzed. Setting goals based on the dimensions of eco-social sustainability describes how the process of democratic governance and the progress towards ecological sustainability in the municipality of Caguas was carried out. The objective was to promote sustainable development at the local scale, considering the compatibility of production systems with social and ecological values, and fostering an economy in the service of this model of development. Through a broad collaborative effort between local society and public administration, six strategic guidelines were created from the chosen ecological sustainability model. From these, the *Strategic Plan of New Generation of the City of Caguas* is born, which contains the management strategies that forge the future of the City.

Capítulo I Introducción



1. Introducción, planteamiento general y objetivos

1.1 Marco teórico y antecedentes

El proyecto de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, EEM (MA, 2005), auspiciado por las Naciones Unidas, desarrolló un procedimiento para determinar el estado de conservación de los ecosistemas del mundo. Sus resultados proporcionan la evidencia más contundente hasta ahora obtenida del impacto de las acciones del ser humano sobre el medio natural. Demuestran, por ejemplo, que en los últimos 50 años los seres humanos han cambiado los ecosistemas naturales más rápida e intensamente que en cualquier otro período comparable en la historia humana. Esta transformación del planeta ha contribuido a lograr aumentos netos sustanciales en el bienestar humano y el desarrollo económico, sin embargo, no todas las regiones y grupos humanos se han beneficiado de este proceso, y muchos se han visto perjudicados. Además, los costos asociados a estas ganancias hoy en día están siendo evidentes. En cuanto a los “servicios” de los ecosistemas examinados, aproximadamente un 60% se encuentran en degradación o se están utilizando de forma no sostenible (MA, 2005). En el caso de las islas, la EEM muestra unas tendencias a la degradación muy rápida debido a los cambios climáticos y la contaminación (nitrógeno y fósforo), también demuestra un rápido impacto en la invasión de especies y un cambio estable en cuanto a la sobre explotación y el cambio en los hábitats. Diversos acercamientos a evaluaciones de los servicios ecosistémicos a nivel local se ha llevado a cabo en muchos países ofreciendo información valiosa sobre sus ecosistemas y cómo establecer estrategias para avanzar a una mejor gestión de los estos (EEM -España, 2011).

La problemática global que se ha observado a partir de los cambios de usos del suelo y presión sobre los ecosistemas para adquisición de bienes y servicios, ha comprometido la capacidad que éstos tienen para ofrecerlos (WRI, 2008; EEM 2005a). En el caso de los ecosistemas tropicales donde el valor de la biodiversidad/riqueza específica es elevada, la sensibilidad a los cambios más o menos abruptos podría representar daños irreversibles a la integridad de los

mismos (MA, 2005c; Daily, 2007). Investigadores de muchos países han prestado atención a la degradación de los ecosistemas, luego que en evaluaciones a gran escala llevadas a cabo por organizaciones mundiales se determinara que la mayoría de los ecosistemas presentan una degradación de moderada a extrema (WRI, 2015; MA, 2005). El estado del medio ambiente y de los ecosistemas se modifica según el crecimiento demográfico, desarrollo y consumo, que pueden reducir o aumentar (ya sea solo temporalmente) el suministro de servicios de los ecosistemas. También los cambios en los patrones climáticos asociados al uso abusivo de combustibles fósiles, propician cambios en los ecosistemas que alteran su función, propiciando modificaciones adversas que afectan su integridad (WRI, 2015).

El presente trabajo, se enmarca en acercamientos a los servicios de los ecosistemas y pretende modelar evaluaciones de la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios, en el marco de la sostenibilidad exigente o ecológica, en una región de Puerto Rico. La importancia de este tipo de estudios es vital frente a un panorama mundial de degradación de los ecosistemas, atendiendo a las señales de alarma (expuestas en las evaluaciones mundiales citadas) que no se deben pasar por alto.

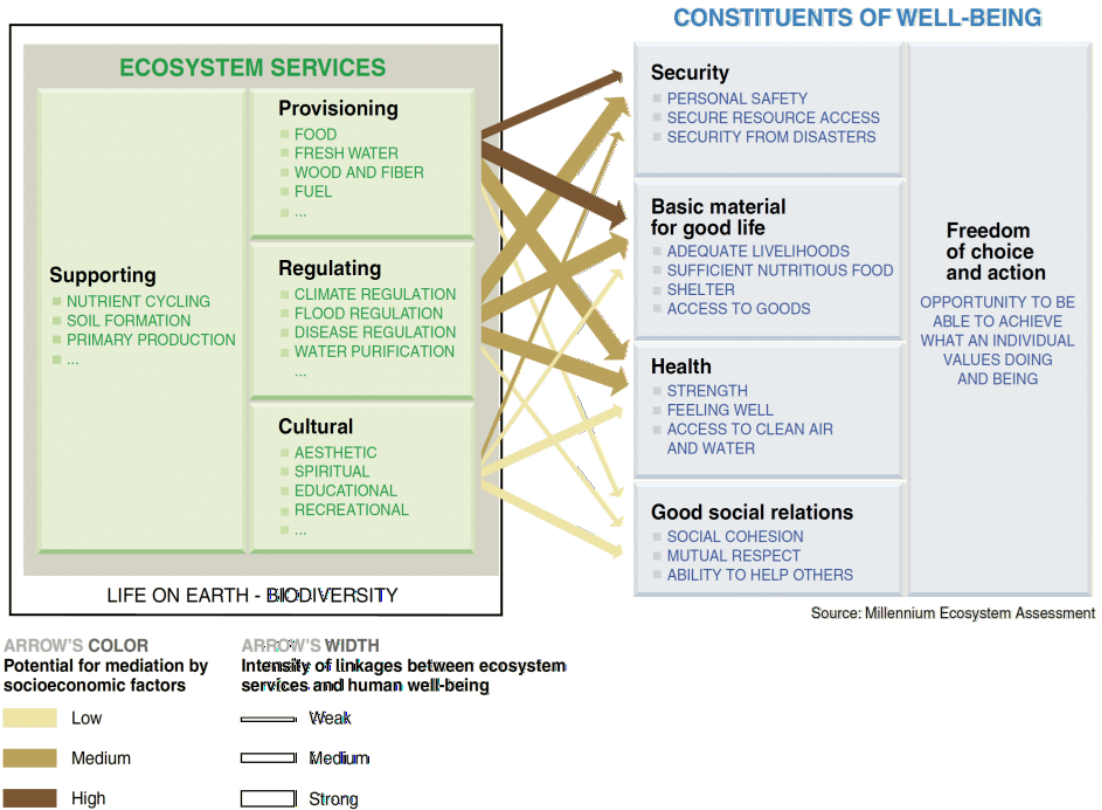
1.2 Servicios de los ecosistemas, cambio global y adaptación de los usos humanos a las posibilidades de los ecosistemas.

El valor de la naturaleza para los seres humanos ha sido siempre reconocido, pero en años recientes, el concepto de servicios de los ecosistemas ha sido desarrollado para describir esos beneficios (Chivian & Bernstein, 2008). Los ecosistemas son proveedores de los servicios necesarios para posibilitar la vida humana en el Planeta; en ausencia de éstos simplemente el ser humano no pudiera existir (TEEB, 2013) o se vería obligado a sobrevivir en condiciones de carencias extremas. Un servicio ecosistémico (eco-servicio) es cualquier beneficio que la vida silvestre o un ecosistema provee a la gente (Hejnowicz,, *et al*, 2000). La Evaluación de Ecosistemas del Milenio, EEM (MA, 2005), clasifica los servicios de los ecosistemas en servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios de soporte y servicios culturales, cada uno de los cuales tiene varias subcategorías

(Figura 1). *Los servicios de aprovisionamiento* son cualquier tipo de beneficio a las personas extraído directamente del sistema natural, por ejemplo, alimentos, agua limpia, fibra, plantas para textiles y medicinas, gas y aceite natural, leña, entre muchos otros (De Groot *et al.*, 2010). *Los servicios de regulación* son aquellos procesos ecosistémicos que consisten en moderar los efectos de fenómenos naturales y artificiales, por ejemplo, regulación de algunas plagas y enfermedades, polinización, descomposición, filtración de aguas, control de erosión, protección contra peligros naturales como tormentas e inundaciones, entre otros. Y los *servicios culturales* que son los beneficios no-materiales que contribuyen al desarrollo y mejoramiento de los seres humanos, estos incluyen la recreación, el esparcimiento, creatividad, la vista escénica, la interacción con el ecosistema para promover la sanación espiritual, entre otras. También la EEM, categoriza otros servicios de los ecosistemas como los *de soporte*, aquellos fundamentales para que el propio ecosistema pueda mantener sus funciones adecuadamente, por ejemplo, la fotosíntesis, ciclo hidrológico, ciclo de nutrientes, formación de suelos, entre otros. Sin los servicios de apoyo los demás no pudieran existir. En la Evaluación de Ecosistemas del Milenio realizada en España (EEM -España, 2011), y a partir de ésta en el resto de las evaluaciones internacionales, los servicios de apoyo no son considerados debido a su redundancia o solapamiento con los de regulación.

Una vez que un ecosistema es alterado o modificada su estructura, ya sea para reemplazar el uso de suelos o introducir otros usos alternativos dentro del sistema natural, se pone en riesgo su capacidad para prestar los servicios de beneficio al ser humano. En algunos casos, los ecosistemas son alterados para obligar una prestación mayor de beneficios de los que pueden suplir en un tiempo y espacio, alterando su capacidad de resiliencia (la capacidad de un ecosistema de afrontar eventos externos y reorganizarse, para poder retener esencialmente la misma función, estructura, mediante mecanismos de retroalimentación). Esto puede ocasionar que el ecosistema sobrepase los umbrales de tolerancia y caiga en una degradación muchas veces irreversible (Chazdon, 2008).

Figura 1 Servicios de los ecosistemas según la EEM, 2005



Debido a los cambios globales y la degradación de los ecosistemas, el ser humano y los propios sistemas naturales deben adaptarse a las nuevas condiciones de un ambiente en cambio (Boyd, 2010). También el cambio climático y sus consecuencias actualmente son agentes catalíticos de cambios en el ambiente natural del ser humano y otros organismos (IPCC, 2014). Dentro de este panorama, los servicios de los ecosistemas deben ser monitoreados y los ecosistemas atendidos proactivamente para intentar que puedan mantener las funciones adecuadas para prestar servicios, a pesar de los cambios frecuentes. Hoy en día existen diversos grupos que han reconocido la necesidad de crear iniciativas para adaptarse a los cambios. También varias estrategias internacionales se han adoptado para alcanzar ese propósito, como es el caso de la Adaptación Basada en los Ecosistemas (EbA, por sus siglas en inglés) (Colls *et al*, 2009), donde se promueve la utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como parte de una acción más

amplia de adaptación, para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. La EbA integra el manejo sostenible, la conservación y la restauración de ecosistemas para proveer servicios que permitan a las personas adaptarse a los impactos del cambio climático. Su propósito es mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas. (Lhumeau & Cordero, 2012).

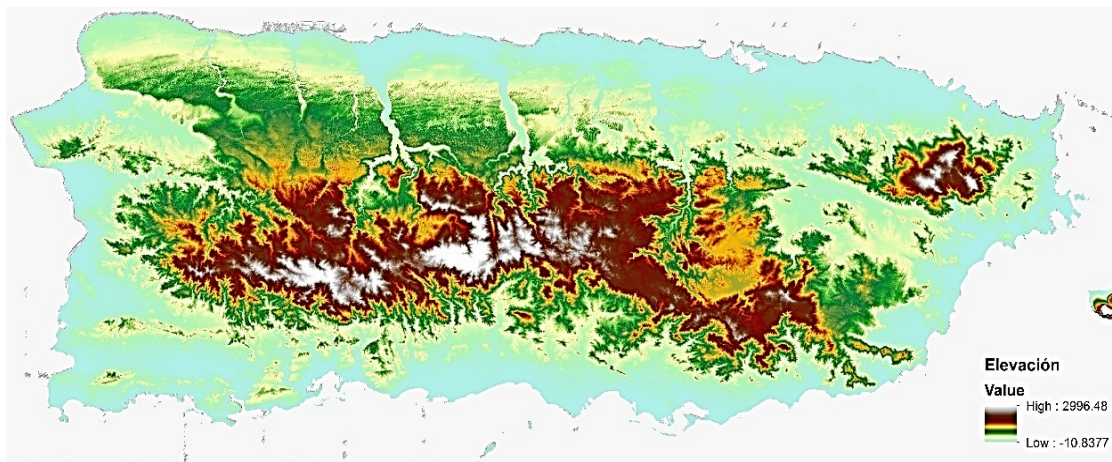
En esencia, cada país debe ser responsable de observar el desarrollo y evolución de sus ecosistemas locales, de esta manera se puede obtener información crucial para establecer estrategias que contribuyan al desarrollo sostenible de las comunidades en consideración al estado de sus ecosistemas (PNUMA, 2007). En la teoría y práctica del desarrollo humano, y en especial en América Latina, el concepto de comunidad, se refiere a grupos sociales con problemáticas comunes de desarrollo (actividad económica, espacio de residencia, expectativas, etc).

Estrategias como la EbA son dependientes del monitoreo de los ecosistemas para poder diseñar estrategias de adaptación social y ecológica. Otras estrategias a nivel local, de país, pueden ser desarrolladas a partir de su realidad socio-cultural, ecológica, económica y de producción. Con este propósito, hace falta delinear metodologías aplicables a la evaluación de los servicios de los ecosistemas y su aplicación a la planificación local. La importancia del sistema de producción como dimensión evaluativa y su relación jerárquica como un eslabón intermedio que conecta la economía con los sistemas naturales, es una de las características originales del modelo de evaluación de la sostenibilidad desarrollado por Gómez Sal (2001) que utilizaremos en algunos capítulos de esta memoria. Su importancia radica en que es precisamente en el sistema de producción (incluyendo gestión y planificación), el “cómo” se hacen las cosas, donde reside el atributo de sostenibilidad fuerte.

2. Ecología del paisaje y cambios históricos a la composición del mosaico geográfico de Puerto Rico

Puerto Rico es una isla ubicada en el mar Caribe, la menor de las Antillas Mayores y con un área de 8,959 km². La densidad poblacional de Puerto Rico es de 440 habitantes/km² siendo el tercer país con mayor población del Caribe luego de Cuba y La Española. El 40% de la isla está cubierta de montañas, siendo las principales la Cordillera Central (divide a la isla sectores, norte y sur), la Sierra de Luquillo y la Sierra de Cayey. Otro 35% está cubierto por colinas y el 25% restante lo ocupan llanuras, principalmente en la región costera del norte. La parte más elevada de la isla se halla en el Cerro de Punta, en la Cordillera Central, con una altura de 1339 msnm. A poca distancia de la costa norte, y paralela a ella, se encuentra la fosa de Puerto Rico, la más profunda del océano Atlántico con 9129 metros bajo el nivel del mar (Acevedo, 2014).

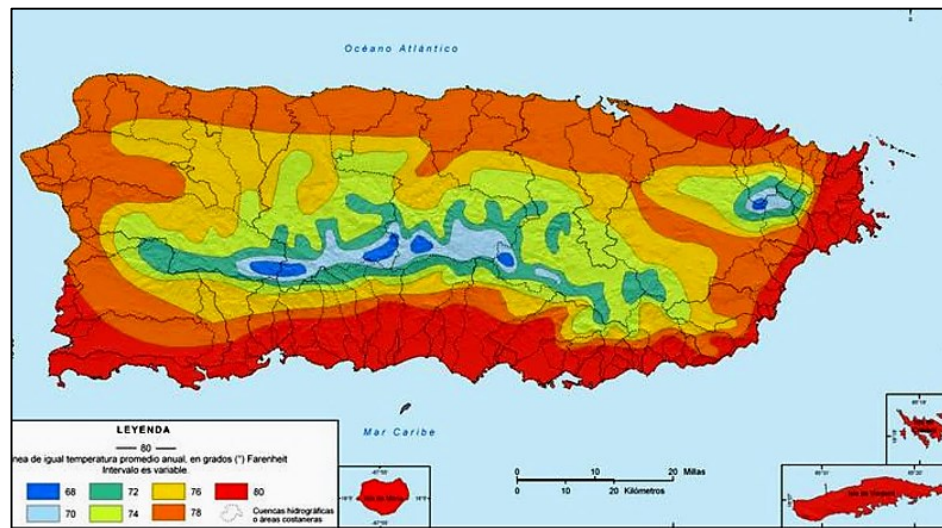
Figura 2 Mapa de elevación de Puerto Rico



En cuanto a la temperatura, sin grandes variaciones anuales, registra un promedio diario de 24 a 27 °C, descendiendo por las noches en las zonas de montaña. En los lugares de altura mayor de 900 m el clima puede cambiar a templado o subtropical de altura, como sucede en lugares como Jayuya, Adjuntas y

Maricao donde hay bosques de pino y temperaturas hasta 10 °C más bajas que en la ciudad de San Juan. Sin embargo, en el verano la temperatura puede sentirse cerca de los 38.5 °C. En el verano del 2009, se alcanzaron temperaturas de hasta 40°C (Acevedo, 2014).

*Figura 3 Mapa de Temperatura Promedio
(Quiñonez & Torres, 2012)*

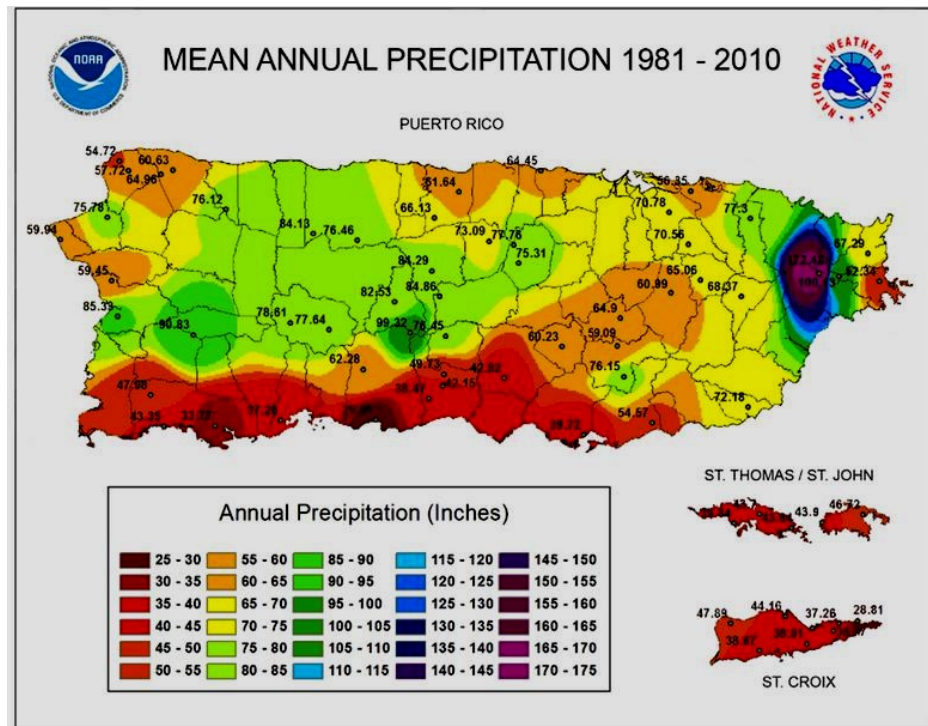


Los regímenes de viento en Puerto Rico incluyen los vientos alisios del Este y brisas diarias marinas y terrestres, que en conjunto moderan considerablemente la temperatura. El Norte es más fresco y lluvioso, con temperaturas que oscilan entre 13°C a 27°C en invierno, y 21°C a 32°C en el verano. El Sur es semiárido prácticamente todo el año, con temperaturas que varían entre 13°C a 32°C en invierno, y 24°C a 38°C en verano. El centro montañoso de la isla es más lluvioso y frío, con promedio de lluvias de más de 2,540 mm, y temperaturas que oscilan entre 5°C y 21°C.

El promedio anual de precipitaciones ronda entre los 635 mm y 4445 mm, los vientos alisios del noreste en ocasiones arrastran grandes nubes que descargan al chocar con la Sierra de Luquillo. En Puerto Rico hay 224 cursos fluviales

permanentes y una red hidrográfica extensa de más de 553 afluentes con nombres. Tiene 9 embalses de agua artificiales para sufragar agua potable a las localidades.

Figura 4 Mapa de Precipitación Promedio
(NOAA, 2010), [1"=25,4 mm]



En general y contrario a otras islas de la zona, Puerto Rico está gobernado como Estado Libre Asociado con los Estados Unidos, país que tiene autoridad sobre sus asuntos internos. Los Estados Unidos controlan su comercio interestatal, sus relaciones extranjeras y comerciales, inmigración y emigración, nacionalidad y ciudadanía, moneda, leyes marítimas, servicio militar, leyes constitucionales, procedimientos legales y jurídicos, la agricultura, la minería, entre otras (Comas, 2009).

Figura 5 Áreas Naturales Protegidas, PRGAP, (Gould, et al, 2007)

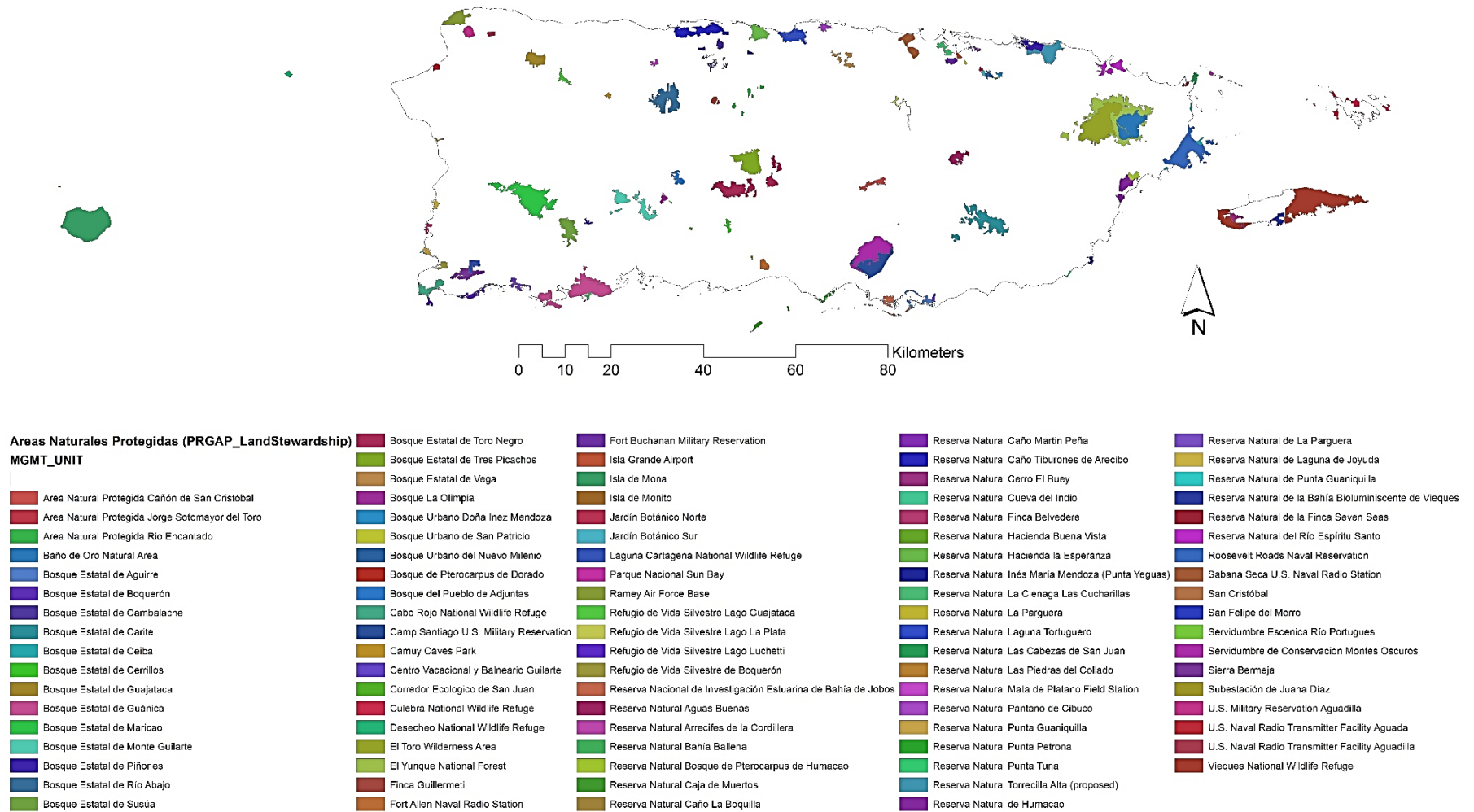
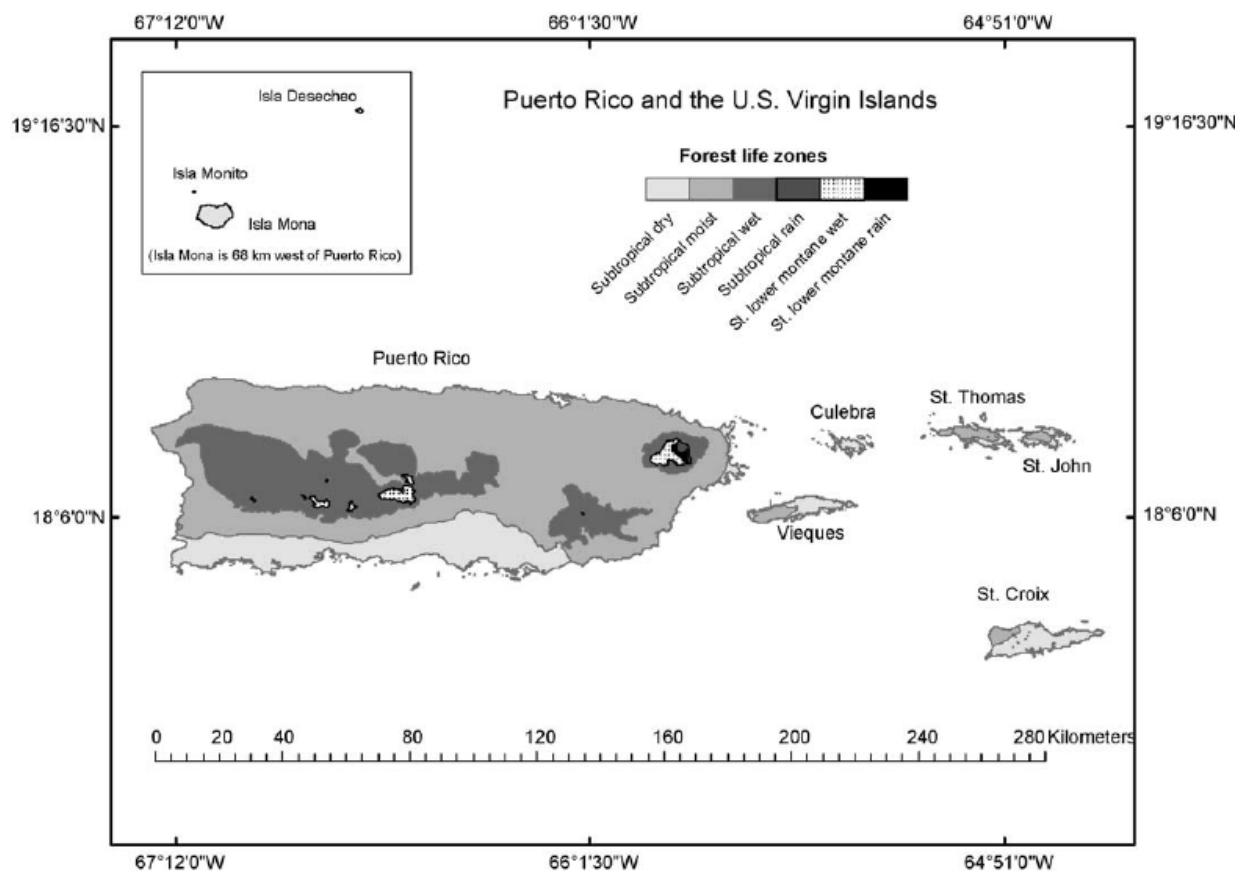


Figura 6 Zonas de vida (Brandeis et al, 2009)



En cuanto a la naturaleza, la variedad de ecosistemas de la Isla es muy diversa. Mayormente su área está cubierta por sistemas forestales que se consideran recursos cruciales, ya que mantienen el balance en suelos y vegetación en zonas clave. El DRNA¹ define los bosques como un conjunto de recursos naturales, suelo, agua, vegetación y vida silvestre, que forman un sistema natural de gran valor ecológico, económico y estético. Los bosques conservan el suelo, agua, flora y fauna, proveen servicios como recursos madereros, productos no madereros y oportunidad para recreación, relajamiento, inspiración y empleo. En Puerto Rico, las zonas de vida ecológicas de Holdridge (Puerto Rico's Holdridge Ecological

¹ El DRNA es la Agencia en Puerto Rico es responsable de aplicar una política pública de conservación y uso sostenible de los recursos forestales de Puerto Rico en terrenos públicos y privados. Esta función la lleva a cabo el Negociado de Servicio Forestal, componente programático y operacional del DRNA, encargado de implantar los estatutos de materia forestal.

Lifeszones) (Ewel & Withmore, 1973) se utilizan para clasificar las áreas definidas por aspectos edafo-climáticos y la vegetación (Fig. 6)²:

1. *Bosque Seco Subtropical*: Es la zona más seca, con una precipitación que va de 600 a 1000 mm anuales. La altura de este bosque es limitada por la condición climática y su composición incluye desde cactáceas hasta vegetación siempre verde. Esta zona de vida (Fig. 6) tiene una alta diversidad de aves. La diversidad y cantidad de la avifauna también están asociadas a una alta diversidad de insectos. El Bosque Estatal de Guánica ha sido identificado por Ewel y Whitmore (1973) como posiblemente un ejemplo excelente y representativo de la composición de vegetación natural de un bosque seco subtropical. La mayor parte de este, se encuentra bajo el sistema de bosques estatales administrados por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. El Bosque Estatal de Guánica está localizado en la costa suroeste de Puerto Rico, a poca distancia del pueblo de Guánica. En la zona más seca y árida de la Isla. Es un bosque xerofítico, con una precipitación anual de 762 mm. Esta zona es la más seca y de mayor radiación solar en Puerto Rico. Se han registrado temperaturas muy altas que fluctúan entre 26°C en las áreas de sombra y 37°C en áreas más expuestas.
2. *Bosque Húmedo Subtropical*: Esta zona de vida ocupa mayor extensión en la Isla. Su precipitación promedio está entre 1,000 y 2,200 mm. La diversidad de suelos característica de la Isla establece una diferencia en la capacidad de retención de agua en diferentes áreas de Puerto Rico pertenecientes al bosque húmedo subtropical. La mayoría de estas áreas han sufrido deforestación o fueron degradadas por el intenso uso agrícola debido a la aptitud de los suelos para esos fines. Con la excepción de los suelos ricos en serpentina o derivados de calizas, la mayoría de los suelos en esta zona de vida cuentan con una cubierta no forestal o un bosque secundario, si están en terrenos privados. Todos los bosques públicos de la zona de la caliza del

² Información provista por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) en su "Informe sobre el Estado y Condición del Ambiente en Puerto Rico", 2003.

norte tienen terrenos dentro del bosque húmedo tropical, lo que les convierte en remanentes importantes de la vegetación original, así como núcleos de biodiversidad para la Isla. La zona de “mogotes” formaciones calcáreas monticulares consecuencia de la erosión en el área caliza del norte, tienen gradiente de humedad de la cima a su base debido a la infiltración del material del suelo, su geología también contribuye a una alta diversidad vegetal. Respecto a los bosques urbanos (fragmentos de bosques protegidos dentro de áreas urbanas), una pequeña porción del Bosque Estatal de Maricao y de Susúa caen bajo esta zona de vida (Fig. 5). Estos bosques también cuentan con importantes recursos de biodiversidad debido a su composición de los suelos donde se encuentra la serpentina de Puerto Rico. Los suelos de estos bosques albergan a muchas especies vegetales endémicas, pero no son buenos para la agricultura o el manejo silvícola maderero. En las costas norte de Puerto Rico, muchos sistemas de manglares están bajo esta zona de vida y crecen más grandes que los que se encuentran en la zona seca subtropical del sur (Fig. 6). Esta zona de vida es la más impactada por usos y su composición vegetal fuera de las áreas protegidas está dominada por bosques secundarios. En la región de la caliza del norte existe mucha presión por el uso del suelo, lo cual puede afectar el sistema de bosques que aún existe en estas áreas. Los bosques públicos pasan a ser parches rodeados de urbanismo, eliminación de los mogotes y alteraciones como carreteras, lo cual fragmentan este ecosistema, afectando al balance hídrico y su relación con los acuíferos de la región norte de la Isla. Además, las áreas aledañas a los manglares, con un nivel freático alto, cuentan con pantanos o humedales, muchos de ellos afectados por usos agrícolas o por las construcciones urbanas que rellenan estas áreas.

3. *Bosque Muy Húmedo Subtropical*: Esta zona de vida ocupa muchas de las áreas de mayor elevación en la Isla. Es una zona de precipitación elevada, con un promedio de 3000 mm por año. En esta zona se reduce el déficit de humedad en el suelo, lo que crea problemas de escorrentía y susceptibilidad a la erosión por la combinación del efecto clima, los suelos y la topografía.

Existen remanentes de bosque maduro de esta zona de vida en áreas como Carite, Guilarte, Toro Negro, Río Abajo y Maricao (Fig. 5). Muchas áreas de esta zona de vida fueron taladas selectivamente para extraer especies de maderas preciosas, degradando la composición de algunos bosques. Estas áreas fueron usadas o están siendo usadas para cultivo de café. El cultivo de café con o sin sombra crea un mosaico en el paisaje y en la composición forestal de esta zona de vida. Bosques como Guilarte y el Bosque del Pueblo, cuentan con remanentes de áreas agrícolas donde se encuentran cultivos, plantaciones establecidas como estrategia para la recuperación de cubierta forestal y bosques nativos que se intercalan en el paisaje. Los usos de pastoreo es otro parche que domina en muchos terrenos privados y que puede estar en uso o bajo estado de sucesión con bosque secundario. Esta zona de vida es esencial para el manejo de agua y la escorrentía en Puerto Rico. Es importante evaluar los usos congruentes basándose en el suelo, topografía y proximidad a ríos y quebradas para reducir la sedimentación de los cuerpos de agua a la vez que se mantiene el potencial de producción de agua que esta zona ofrece para Puerto Rico. Los usos de pastoreo deben reducirse, ya que son áreas difíciles de manejar por su topografía y clima. Un manejo agrícola que promueva la remoción total de la cubierta forestal en esta zona atenta con sus funciones naturales.

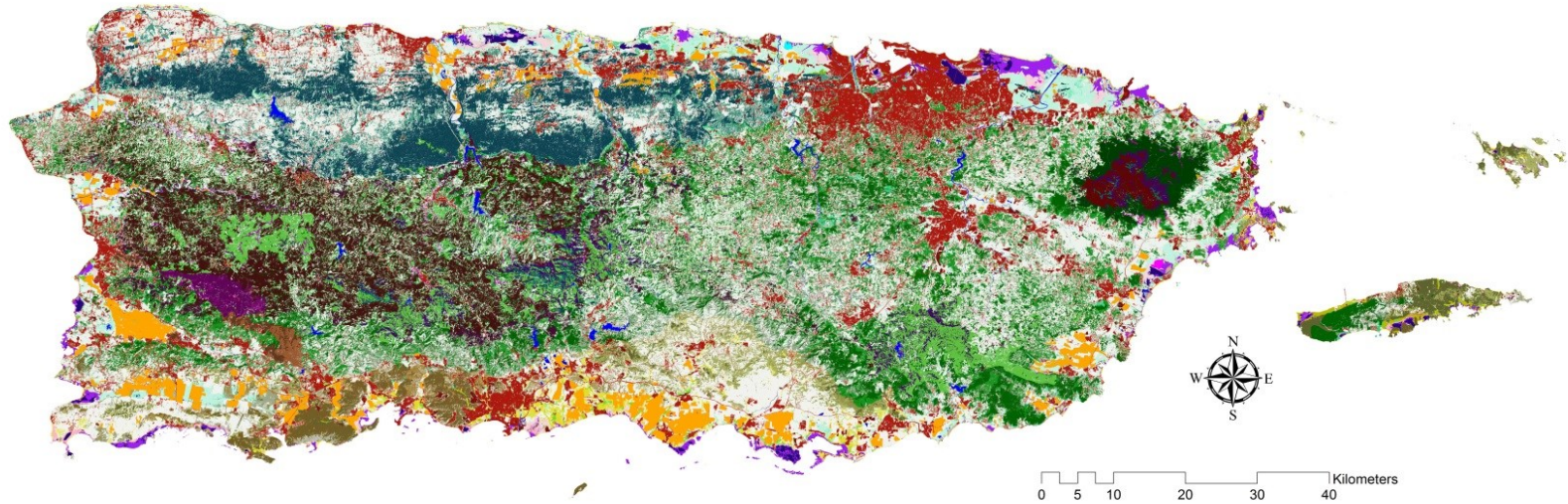
4. *Bosque Lluvioso Subtropical*: Esta área ocupa poco terreno y sólo ocurre dentro de los límites del “Bosque Nacional del Caribe”, un área de conservación especialmente protegida y manejado por el Servicio Forestal Federal de Estados Unidos. Los suelos de esta zona permanecen totalmente saturados durante el año. El grado de saturación hídrica es un factor que afecta la respiración de las raíces, lo que influye en las características de la vegetación. El cien por cien de esta área está protegida y su uso relacionado con la investigación y recreación de forma controlada. Debido a la relación de esta área con la lluvia, la misma puede ser afectada por los cambios climáticos a escala mundial.

5. *Bosque Montano Bajo Muy Húmedo*: Esta zona de vida ocupa la mayoría de los picos de montañas sobre los 1000 metros de elevación. La vegetación de esta zona está relacionada con el bosque tipo palo colorado (*Cyrilla racemiflora*) y cuenta con elevada humedad en el suelo durante todo el año. Además del bosque tipo palo colorado, se encuentran asociaciones de bosque nublado o enano, donde destacan las áreas reconocida dentro del “Bosque Nacional del Caribe (El Yunque)”, pero que también existen en menor escala en las partes más altas de los bosques públicos que tienen terrenos bajo esta clasificación. Los bosques públicos de Carite, Maricao, Guilarte y Toro Negro tienen parte de sus terrenos en esta zona de vida (ver fig. 5 y 6). La mayor extensión de terreno de esta zona de vida se encuentra dentro de los límites del Bosque Nacional del Caribe del Servicio Forestal Federal. Los terrenos forestales dentro de esta zona de vida son muy frágiles para uso maderero o agrícola. Además, los usos de terrenos no compatibles para esta zona de vida y los suelos que la componen presentan un alto riesgo de deslizamientos en la ladera.
6. *Bosque Montano Bajo Lluvioso*: Esta es la zona de vida con menor extensión de terreno en Puerto Rico. La vegetación en esta zona de vida es muy similar a la del Bosque Montano Bajo Muy Húmedo. Todos los terrenos están protegidos dentro de los límites del “Bosque Nacional del Caribe” del Servicio Forestal Federal. Al igual que el Bosque Lluvioso Tropical y debido a la relación de esta área con la lluvia, la conservación puede ser afectada por aspectos climáticos globales.

Con una distribución no dependiente de patrones climáticos, existen en Puerto Rico múltiples ecosistemas de carácter local. Entre ellos podría destacarse, humedales costeros y de interior, estuarios, bosques de manglar, playas, arrecifes de coral, lagunas, bosques de *Pterocarpus officinalis* (especie de árbol de humedal), cuevas, cavernas, sumideros, cañones, mogotes. Cada uno de estos sistemas singulares, ofrece un valor único por su contribución al mosaico isleño y los beneficios para las personas.

Figura 7

Mapa de cubierta de suelos para Puerto Rico, Gould 2007



- | | | | |
|---|--|---|--|
| Abandoned dry forest plantation | Lowland dry limestone cliffside semideciduous forest | Mature secondary lowland dry alluvial semideciduous forest | Salt production |
| Aquiculture | Lowland dry limestone cliffside shrubland and woodland | Mature secondary lowland dry limestone evergreen forest | Salt water |
| Artificial barrens | Lowland dry limestone shrubland | Mature secondary lowland dry limestone semideciduous forest | Seasonally flooded herbaceous nonsaline wetlands |
| Coastal dwarf woodland and shrubland | Lowland dry limestone woodland and shrubland | Mature secondary lowland dry noncalcareous semideciduous forest | Seasonally flooded herbaceous saline wetlands |
| Dry and moist serpentine woodland and shrubland | Lowland dry noncalcareous shrubland and woodland | Mature secondary lowland moist alluvial evergreen forest | Wet serpentine shrubland and woodland |
| Dry cactus grassland and shrubland | Lowland dry riparian forest | Mature secondary lowland moist noncalcareous evergreen forest | Woody agriculture and plantations: Palm plantations |
| Dry grasslands and pastures | Lowland dry riparian shrubland and woodland | Mature secondary moist limestone evergreen and semideciduous forest | Young secondary dry and moist serpentine semideciduous forest |
| Emergent herbaceous nonsaline wetlands | Lowland moist abandoned and active coffee plantations | Mature secondary montane wet alluvial evergreen forest | Young secondary lowland dry alluvial semideciduous forest |
| Emergent herbaceous saline wetlands | Lowland moist alluvial shrubland and woodland | Mature secondary montane wet noncalcareous evergreen forest | Young secondary lowland dry limestone semideciduous forest |
| Fine to coarse sandy beaches, mixed sand and gravel beaches | Lowland moist noncalcareous shrubland and woodland | Mature secondary montane wet serpentine evergreen forest | Young secondary lowland dry noncalcareous semideciduous forest |
| Freshwater | Lowland moist riparian forest | Moist grasslands and pastures | Young secondary lowland moist alluvial evergreen forest |
| Freshwater Pterocarpus swamp | Lowland moist riparian shrubland and woodland | Moist limestone shrubland and woodland | Young secondary lowland moist noncalcareous evergreen forest |
| Gravel beaches and stony shoreline | Mangrove forest and shrubland | Montane wet alluvial shrubland and woodland | Young secondary moist limestone evergreen and semideciduous forest |
| Hay and row crops | Mature primary elfin woodland and secondary montane wet noncalcareous evergreen cloud forest | Montane wet evergreen abandoned and active coffee plantation | Young secondary montane wet alluvial evergreen forest |
| High-density urban development | Mature primary Palo Colorado and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest | Montane wet noncalcareous evergreen shrubland and woodland | Young secondary montane wet noncalcareous evergreen forest |
| Low-density urban development | Mature primary Sierra Palm and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest | Riparian and other natural barrens | Young secondary montane wet serpentine evergreen forest |
| Lowland dry alluvial shrubland and woodland | Mature primary Tabonuco and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest | Rocky cliffs and shelves | |
| Lowland dry cactus shrubland | Mature secondary dry and moist serpentine semideciduous forest | Salt and mudflats | |

En Puerto Rico, los recursos naturales han sido alterados en función de los procesos históricos que la isla ha sufrido. Durante la colonia española, en particular en el del siglo XIX, los ecosistemas fueron progresivamente alterados y en muchos de terrenos eliminados la cubierta arbórea para dar paso a usos agrícolas tanto de agricultura tradicional como usos intensivos para productos de exportación. Esta situación de producción intensiva culminó en el siglo XX con en el abandono de las tierras que habían quedado escasas de población y cobertura de especies nativas en prácticamente todos los ecosistemas insulares de interior. Debido a la dedicación agrícola, solo algunos enclaves naturales prevalecieron por su topografía abrupta o lejanía de las infraestructuras de acopio y procesado, que imposibilitaba las actividades agrícolas en dichas áreas. Así se contribuyó al mantenimiento de los ecosistemas existentes hoy día, de composición variada, que incluye especies exóticas introducidas en la mayoría de los ecosistemas (Domínguez, 2000).

Hoy día, la composición de los bosques contemporáneos en Puerto Rico es novel, bosques con especies diferentes, o no nativas a los bosques originales en la misma localidad (Lugo, 2010). Los cambios han sido tan significativos que los científicos vagamente se ponen de acuerdo en cómo tratar los ecosistemas resultantes de la actividad del pasado ya que aún se debate si deben ser manejados desde una perspectiva de ecología de las especies y comunidades vegetales nativas o se deben incorporar las exóticas como parte substancial la función del ecosistema (Helmer, 2004).

2.1. La dimensión ecosistémica apunta al desarrollo endógeno sostenible en Puerto Rico.

La capacidad de ofrecer materia prima para algunos tipos de producción local, alimentos, funciones de regulación, mitigación de riesgos procedentes de eventos naturales y el mantenimiento de espacios escénicos de calidad, son algunos ejemplos de la variedad de servicios que pueden proveer los ecosistemas. En el caso de Puerto Rico, existe una relación intrínseca entre la producción endógena de la Isla y la ocupación del territorio (Quiñones, 2015). Esa relación puede ser conflictiva cuando se propone que un aumento de suministro de bienes puede

basarse en los ecosistemas locales. Es por eso que los servicios de los ecosistemas se encuentran en un panorama de incertidumbre. El mantenimiento de estos servicios dependerá de su inserción correcta o su vínculo adecuado en esquemas de desarrollo de producción local (MA, 2005; Daily, 1997; Costanza *et al* 1997; Gómez Sal, 2001, Boyd & Banzhaf, 2007). La competencia por el espacio disponible para las actividades en conflicto requiere una estrategia de manejo que responda a las necesidades cruciales o prioritarias que se plantea la sociedad (Aponte, 2001; Seguinot & Meléndez, 2010). El uso inapropiado de las áreas de alto valor ecológico en Puerto Rico procede en buena medida de no considerar en la ordenación territorial la preservación de los servicios ecosistémicos de mayor prioridad, teniendo en cuenta la condición isleña del país y su elevada demografía. Ejemplo de ello es el uso de terrenos de alto valor agrícola como áreas residenciales, industriales y/o comerciales, ignorando el valor principal del limitado suelo; igualmente el uso de zonas costeras para proyectos turísticos, hoteleros y residenciales de alto coste, en áreas con ecosistemas clave que además de aportar servicios culturales, tienen funciones de regulación de riesgos naturales como inundaciones costeras, marejadas ciclónicas y vientos fuertes (según la clasificación de la EEM, 2005). También los ecosistemas tienen la capacidad de almacenar y purificar el agua (Ewel, 1997). Las tendencias a desarrollar de forma indiscriminada tipos de actividades contraproducentes para los intereses socio-económicos, culturales y ambientales de los residentes locales, es cada vez mayor. Es por eso que los ecosistemas en Puerto Rico se han visto seriamente degradados, debido a una falta de criterios sensatos para su manejo y falta de estrategias de uso para beneficio en sociedades locales (Grau, *et al* 2003). Las consecuencias han sido dedicar zonas de alto valor agrícola, escénico y ecológico a la actividad urbana, hotelera y privada, para uso y disfrute exclusivo de los que pueden sufragar los altos costes de tales proyectos.

Por otro lado, el modelo de desarrollo económico de industrialización por invitación implantado en Puerto Rico muestra signos de desgaste en su estructura desde hace más de tres décadas (Quiñones, 2011). Este desgaste combinado con los

cambios demográficos y nuevos ordenamientos del comercio a escala global ha afectado a la capacidad del país para poder encaminar un desarrollo económico sostenible. La entrada al mercado internacional de países como China e India, y los componentes del cambio global, entre otros factores, están provocando cambios abruptos en el coste de la energía, las materias primas y los alimentos (Colón, 2007). La eliminación de los incentivos contributivos federales (de los Estados Unidos) en Puerto Rico también afectó a la capacidad de generar empleos en la manufactura, motor principal de las exportaciones del país. Por otro lado, el país está en los límites de su capacidad prestataria debido a exceso de deudas (Alameda, 2011) lo que lo sitúa en una situación difícil para afrontar el nuevo escenario del “mundo cambiante”.

La respuesta tradicional ha sido buscar la manera en que Estados Unidos aumente las transferencias unilaterales a través de múltiples programas y proyectos que se gestionan por los municipios, el gobierno estatal, las corporaciones públicas y últimamente las organizaciones no gubernamentales. Por otra parte, cada vez es mayor la demanda social al sistema gubernamental de Puerto Rico de iniciativas que fomenten la actividad productiva en la Isla para mejorar la calidad de vida. En contraste con ello, en Puerto Rico se ha desarrollado una subcultura de dependencia de fondos externos que va destruyendo cada día los valores de un pueblo trabajador (Rodríguez, 1987; Colón, 2007) propietario de espacios con sistemas ecológicos con alto potencial productivo.

También existe en el país un problema mayor de participación en la actividad laboral formal. Según los datos del Departamento del Trabajo y Recursos Humanos [PR], Negociado de Estadísticas del Trabajo (2011), solo un 41% de la población trabaja y el otro 59% está fuera del grupo trabajador (oficios domésticos, incapacitados, retirados, población muy joven o anciana, declarados con falta de destreza y experiencia para el trabajo, desalentados u ociosos voluntarios). Peor aún, de ese 41% de la fuerza activa trabajadora potencial en Puerto Rico, hay un 16% actualmente desempleada. Debido a esta situación, y teniendo en cuenta que la actividad de producción local en la Isla es poca y dependiente de productos y

recursos externos, es urgente desarrollar mecanismos de estímulo de producción endógena. Según Marxuach (2011), es imperativo re-estructurar la economía de Puerto Rico desde un planteamiento enfocado prioritariamente al consumo, como motor de desarrollo, hacia uno en la inversión y la producción, una producción desde el marco de la economía ecológica representada en un esquema de sostenibilidad fuerte (Gómez Sal, 2004, 2007; Chavarro & Quintero, 2009). Muchas comunidades en la Isla han manifestado el deseo de desarrollar iniciativas para activar mecanismos de producción basados en los ecosistemas cercanos, entendidos como el marco de expresión de la sociedad y la cultura específica de las mismas, de forma que el desarrollo pueda asentarse en el uso sostenible de los recursos, proponiendo un nuevo modelo de desarrollo local para Puerto Rico que se contraponga al modelo convencional, dependiente en exceso de mercados e intereses externos (WRI, 2008, CEPAL, 2009). Ese nuevo modelo debería plantear una alternativa al modelo de desarrollo económico existente e insostenible que permanece en el país (Rodríguez, 2011). Para alcanzar propuestas coherentes, deben existir evaluaciones basadas en la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios y/o acoger nueva actividad económica que responda a las necesidades locales. Esa brecha, destapa la necesidad de creación de nuevos métodos de análisis para los ecosistemas en PR. Desde diagnosticar la sostenibilidad de los usos del suelo, hasta establecer modelos que determinen el valor de los ecosistemas como prestadores de servicios para establecer medidas de conservación. Así mismo es importante incluir el valor de la conservación de las funciones ecosistémicas en la planificación estrategia de bienestar social.

2.2. Sostenibilidad ecológica para Puerto Rico

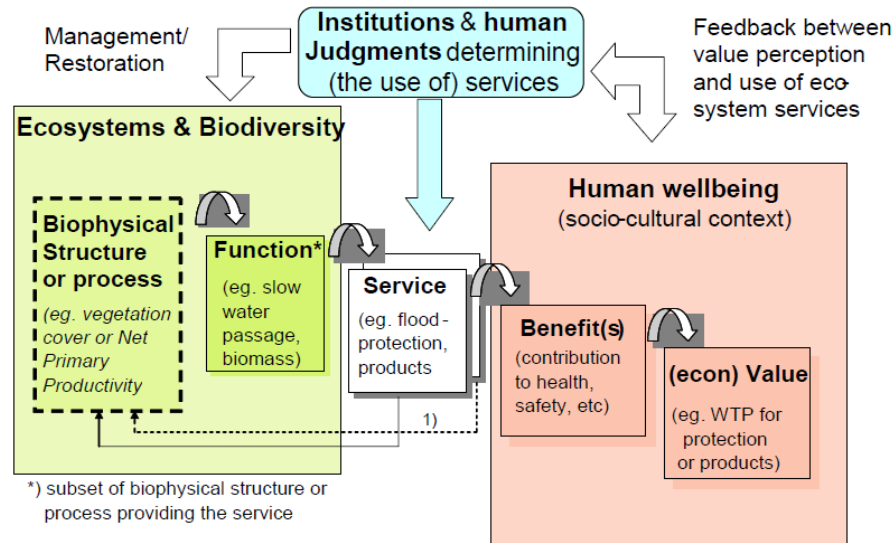
La isla de Puerto Rico se encuentra la zona tropical del Caribe, donde se observa una composición ecológica única, particularmente por su complejidad en la dinámica de su ensamblaje de comunidades, dirigido por el manejo (histórico-cultural) (Domínguez, 2000). Desde una perspectiva de la ecología del paisaje, donde se estudian las condiciones físico/ecológicas, patrones culturales y los procesos de gestión humana que influyen la estructura del paisaje, sus funciones

y cambios (LaGro, 2001), Puerto Rico demuestra una alta complejidad en la composición de su espacio natural basada en una historia multicultural. Los suelos han sido alterados para usos urbanos en franjas costeras y en llanuras del interior, siendo conflictivos con la integridad de ecosistemas y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Áreas boscosas de sucesión secundaria han sido igualmente alteradas y la autorización por parte de las instituciones gubernamentales estatales ha sido cuestionada desde hace años por la facilidad de alteración de áreas naturales y de alto valor agrícola, dedicada a para la construcción y otros usos (Corriente Verde, 2014). El establecer comparaciones para diagnosticar la situación de Puerto Rico frente a la de otros países más exigentes, sería una base para partir hacia la dirección de la sostenibilidad tanto ecológica como el equilibrio aplicable de otras dimensiones. Para poder comparar la situación de la Isla, es necesario diagnósticos locales, modelos de tendencias territoriales y posibles propuestas para reforzar una sostenibilidad fuerte en el territorio (Daly & Cobb 1989; Gómez Sal, 2004).

Durante las últimas décadas, han ido en aumento los esfuerzos de los científicos para evaluar la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios de en la escala local. El proyecto de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio propuso como novedad el enlace entre los servicios de los ecosistemas y los componentes del bienestar humano (Fig.1, MA, 2005), este planteamiento ayuda a utilizar y divulgar el concepto de los servicios de los ecosistemas, entre la población e incluso creadores de políticas públicas. Sin embargo, los progresos en su aplicación práctica en la planificación de uso de suelos y toma de decisiones han sido lenta (Daily *et al.* 2009, Naidoo *et al.* 2008). Aunque la MA, 2005, no presto mucha atención a la economía de los cambios ecosistemicos, iniciativas como “*The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundation*” (TEEB) han estado trabajando para “hacer visibles los valores de la naturaleza”. La misión del TEEB es concretar los valores de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en la toma de decisiones en todos los niveles (Fig. 3). La manera de alcanzar su propósito es mediante un acercamiento estructurado hacia la valoración que ayude

a los tomadores de decisiones a reconocer el amplio rango de beneficios provistos por los ecosistemas y la biodiversidad, demostrar sus valores en términos económicos y, cuando sea posible, incluir esos valores en la toma de decisiones³.

Figura 8 Representación esquemática del proceso en el que se relacionan los ecosistemas con el bienestar humano



Adapted from Haines-Young & Potschin, 2010 and Maltby (ed.), 2009

Con el propósito de concienciar sobre el valor de los ecosistemas en Puerto Rico para el bienestar de las comunidades locales, este trabajo plantea la evaluación del potencial de productos agrícolas demandados por la sociedad local en la zona sur oriental de Puerto Rico, teniendo en cuenta los ecosistemas presentes en la actualidad y su posible transformación a agroecosistemas. Esta investigación adopta, por tanto, el paradigma de los servicios ofrecidos por los ecosistemas para el bienestar humano, en este caso preferentemente para las comunidades locales (MA, 2005; Daily *et al*, 1997; Constanza *et al* 1997; Gómez Sal, 1998, 2001).

En este trabajo también se plantea una evaluación del valor de la cubierta vegetal como mitigadores de pérdida de suelo. Además, se analizan asimismo las estrategias para integrar los servicios de los ecosistemas a la planificación estratégica, integrando los elementos de sostenibilidad e integrando servicios

³ <http://www.teebweb.org/>, accedido el 06/10/2016.

culturales en la gestión socio-económica de un municipio (Gómez Sal, 2004, 2007, 2009; FAO, 1994; McDonough & Braungart, 2001; Del Monte et al, 2007). Además de enmarcarse en aspectos teóricos generales, el trabajo de esta tesis doctoral se plantea como un acercamiento a la situación real de Puerto Rico y el análisis de los temas prioritarios (Gómez Sal, 2006) para avanzar hacia una producción sostenible en el país.

3. Objetivo general y líneas de investigación

El marco conceptual considera por una parte a los ecosistemas como proveedores de servicios y por otra la escala social comunitaria (las comunidades) como referencia para el desarrollo de una producción endógena agraria y la protectora de los sistemas ecológicos. *El objetivo general es la introducción de métodos para evaluar la sostenibilidad ecológica desde una perspectiva territorial que contribuya a diferentes esfuerzos de planificación en la gestión pública, la cual incluye estrategias de gestión de los servicios de los ecosistemas, además de establecer la integración de elementos de desarrollo sostenible a la planificación estratégica en el marco de una administración pública municipal.*

El trabajo de investigación tiene una referencia geográfica multiescalar teniendo evaluaciones desde el ámbito regional, cuenca hidrográfica y municipal.

Cuatro líneas de investigación son atendidas en este trabajo para la región centro-sur oriental de Puerto Rico. Esas líneas son identificadas a partir de considerar los ecosistemas como proveedores de servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales (MA, 2005). Las líneas investigadas son:

1. Los ecosistemas como mitigadores de peligros naturales, a través de un acercamiento hacia la sostenibilidad mediante el traslado al territorio de los diferentes escenarios de sostenibilidad presentes en el mismo.

2. Los ecosistemas como reguladores de la pérdida de suelo, servicios de regulación, en este caso la mitigación de la erosión, y posterior sedimentación en un embalse estratégico

3. Los ecosistemas como proveedores de servicios de abastecimiento, en este caso de alimentos. Propuesta de una metodología para introducir nuevos modelos de agroecosistemas, con diversidad de cultivos, en especial de los más demandados en Puerto Rico, con objeto de maximizar la seguridad alimentaria del país;

4. La sostenibilidad ecológica como objetivo de la gestión pública a la escala local, un municipio, a través de la planificación estratégica para la integración de los elementos de sostenibilidad con otros servicios sociales a los planes municipales.

Los objetivos específicos son:

Objetivo I Diagnosticar y representar en el territorio los modelos de sostenibilidad a través de un modelo espacialmente explícito, para determinar y evaluar papel de los ecosistemas en la mitigación de eventos naturales con posibles efectos catastróficos. Este objetivo se relaciona con el análisis integrado de la sostenibilidad, su relación explícita con el territorio, y con la evaluación de servicios de regulación (mitigación de riesgos geofísicos)

Objetivo II Caracterizar y cartografiar escenarios de cubierta vegetal y proyección de los usos de suelo en la cuenca que abastece un embalse, para evaluar los distintos efectos en la pérdida de suelos con las consecuencias de colmatación del embalse. Este objetivo se relaciona con la evaluación de servicios de regulación (control de la erosión)

Objetivo III Desarrollar una metodología de análisis territorial para establecer espacios óptimos y modelos para implementar distintos tipos de agroecosistemas que respondan a las principales demandas locales de alimentos, y de esta forma avanzar hacia la soberanía alimentaria del país. Este objetivo se relaciona con los servicios de abastecimiento (alimentación)

Objetivo IV. Establecer una metodología de planificación estratégica para integrar las dimensiones de la sostenibilidad fuerte o eco-social en los objetivos y estrategias de desarrollo de una administración municipal. Este objetivo se relaciona con la evaluación y gestión de la sostenibilidad en la escala local (municipio) y con la evaluación de servicios de los ecosistemas, en este caso principalmente culturales (participación, educación, investigación, conocimientos locales, sentido de pertenencia, paisaje, etc)

3.1. Preguntas de investigación

Diagnóstico de la sostenibilidad ecológica territorial

¿Cómo diagnosticar la sostenibilidad del uso del territorio (ecosistemas, usos del suelo) para afrontar eventos naturales de inundación y vientos fuertes?

Servicio de regulación ecosistémica

¿Cuál es la diferencia en pérdida de suelos entre escenarios con diferentes cubiertas vegetales en una cuenca hidrográfica en Puerto Rico?

Sistemas agroecológicos

¿Qué modelos de agroecosistemas son más adecuados para las distintas zonas teniendo en cuenta la demanda local, las condiciones del medio físico y la necesidad de mantener los servicios de regulación, evitando conflictos entre estos y los de abastecimiento?

Planificación estratégica municipal, integrando sostenibilidad eco-social y servicios de los ecosistemas

¿Cómo se pueden integrar los componentes de la sostenibilidad con los procesos de planificación estratégica de un municipio a través de la gestión pública?

3.2. Hipótesis general

La hipótesis de partida es que Puerto Rico tiene una diversidad de ecosistemas que prestan importantes servicios a la comunidad local, estos servicios deben consolidarse y, en algunos casos, mejorarse; el valor de esos servicios debe ser descubierto y expuesto a través de estrategias de evaluación para que sean incluidos en la planificación estratégica en las escalas local, regional y, de forma progresiva, también de país, con el objetivo de lograr una mayor autonomía y empoderamiento en la administración de los recursos propios. Se considera que la lógica territorial, derivada de considerar a los ecosistemas como proveedores de servicios (MA, 2005), puede contribuir a resolver los conflictos territoriales a partir del análisis de los valores de los ecosistemas, establecer prioridades de protección y usos, y establecer un sistema coherente de planificación bajo un nuevo modelo de desarrollo. A partir de esta idea, los agro-ecosistemas se analizarán como proveedores de seguridad alimentaria con objeto de reducir la dependencia de cadenas de suministro externas (Gómez Sal, 2001; Comas, 2009; Rodríguez, 2011). Por último, la planificación estratégica debe ser adecuada para un modelo de desarrollo basado en la sostenibilidad ecosocial, como una herramienta imprescindible de apoyo.

4. Organización de esta memoria

La presente memoria de tesis doctoral ha sido organizada con el objetivos de mostrar diferentes aproximaciones relacionadas con evaluación de los servicios de los ecosistemas, dentro del marco de la de sostenibilidad ecológica (eco-social) como meta del desarrollo. Consta de siete capítulos, cuatro de ellos relacionados con la evaluación de los distintos tipos de servicios ecosistémicos e integrando en dos de ellos metodologías para una evaluación multicriterio de la sostenibilidad. Una característica común a los capítulos y diferencial de este trabajo es el empleo de herramientas SIG tanto para el análisis de datos, obtención de información cómo para la representación en el territorio de los resultados.

Figura 9 Esquema general acercamiento a los servicios de los ecosistemas por capítulos de la tesis



4.1. Aportaciones esperadas

Actualmente la evaluación de los servicios ecosistémicos se reconoce como un atributo importante en Puerto Rico. Sin embargo, posiblemente debido a situaciones políticas y fiscales que atraviesa la Isla, no se ha brindado la atención necesaria para analizarlos e integrarlos dentro de la planificación estratégica. En la Isla, las áreas naturales más relevantes han sido conservadas, pero hay muy pocas evaluaciones que permitan conocer el valor directo e indirecto que tienen para las comunidades locales. Este trabajo pretende ofrecer un acercamiento metodológico para evaluar tendencias actuales en los usos del suelo, sus posibles conflictos y consecuencias,

así como propuestas de cambio de usos que pueden implementarse. También aporta métodos para la evaluación de la sostenibilidad con aplicación territorial directa; el método permite relacionar las dimensiones de la sostenibilidad con la planificación territorial estratégica en municipios a través de ejercicios de gobernanza democrática con las comunidades. Esta estrategia, que combina planificación y gobernanza participativa, es la más apropiada para establecer un marco de gestión pública adecuado para la conservación de los servicios de los ecosistemas, junto con otros servicios públicos requeridos por la ciudadanía. Tiene así mismo un destacado papel pedagógico, al crear conciencia de la importancia de los servicios y su relación con el modelo de desarrollo adoptado.

5. Bibliografía

- Acevedo M. J. 2014. Relieve de la superficie terrestre. *Enciclopedia de Puerto Rico. Fundación Puertorriqueña de las Humanidades*.
<http://www.encyclopediapr.org/esp/article.cfm?ref=06091410>
- Alameda, J. I. 2011. Moody's los sistemas de pensiones y la degradación de la calidad del crédito del gobierno central. *Periódico Claridad*, p. 3 (17 de mayo de 2011)
- Aponte, F. 2001. El impacto del actual patrón de desarrollo urbano en las costas. *Ponencia presentada en el primer Congreso: Puerto Rico en Ruta hacia el Desarrollo Inteligente*. 14-16 de noviembre de 2001, Carolina, Puerto Rico
- Boyd, J. & Banzhaf, S., 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*. vol. 63(2-3):616-626.
- Boyd, J. 2010. Ecosystems services and climate adaptation. *Resources for the Future Issue Brief*. p. 10-16.
- Brandeis T., Helmer E., Marcano-Vega L., Lugo A. 2009. Climate shapes the novel plant communities that form after deforestation in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *Forest Ecology and Management* 258:1704–1718.
DOI:10.1016/j.foreco.2009.07.030
- CEPAL 2009. La Republica Dominicana en 2030: hacia una nación cohesionada.
<http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/37540/LBC-104-capIweb.pdf>
- Chavarro A., Quintero J.C. 2009. Economía Ambiental y Economía Ecológica: Hacia una visión de unificada de la Sostenibilidad. *Revista Ideas Ambientales*. Ed. 2
- Chazdon R. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forest and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*. 320:1458.
DOI: 10.1126/science.1155365
- Chivian, E., & Bernstein, A. 2008. *Sustaining Life: How Our Health Depends on Biodiversity*. New York, NY: Oxford University Press, USA. New York: Oxford 542pp.

- Comas M. 2009. Vulnerabilidad de las cadenas de suministro, el cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación: El caso de las cadenas de suministro en Puerto Rico. *Tesis doctoral*. UPR. Programa de Comercio Internacional, Escuela Graduada de Administración Empresas.
- Constanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., ... van den Belt, M. 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387:253-260.
- Colón Reyes L. 2007. La tarea inconclusa: pobreza y desigualdad social en el siglo XXI. *Revista de Ciencias Sociales*. (17):78-117. Río Piedras PR
- Colls A., Ash N., and Ikkala N. 2009. Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change. Gland, Switzerland: IUCN. 16pp.
- Corriente Verde 2014. El maravilloso encanto de Puerto Rico está en riesgo. *Periódico digital*. <http://www.junteambiental.com/noticias/detalle/4603>
- Daly G. C., Alexander S., Ehrlich P. R., ... Woodwell G. M. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. *Issues in Ecology* No. 2, Spring.
- Daly, G., Polasky, J. Goldstein, P.M. Kareiva, H.A., ... Shallenberger R. 2009. Ecosystem services in decision-making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(1): 21-28.
- Daly H., Cobb J. 1989. For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future. Boston: Beacon Press, 476pp.
- De Groot, R., Fisher B, Christie, M. 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem services valuation. P. Kumar (Ed.), TEEB Foundations, Earthscan, London.
- Del Monte, Luna P., Lluch B. D. and Arregin, Sanchez F. 2007. Conservation and sustainable use of living natural resources. *INCI*, Jan., (v) 32, no.1:61-65.

- Departamento del Trabajo y Recursos Humanos [P.R.], 2011. Empleo y desempleo en Puerto Rico. *Negociado de estadísticas del trabajo*, San Juan. http://www.dtrh.gobierno.pr/pdf/emp_des_201103.pdf
- Domínguez, C.M. 2000. Panorama histórico forestal de Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico: Editorial Universidad de Puerto Rico. 680p
- MA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005. Ecosystems and Human Well-Being— Multiscale Assessments: Findings of the Sub-Global Assessments Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC: Island Press.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005a. Ecosystems and Human Well-Being— Current States and Trends: Findings of the Conditions and Trends Working Group. Washington, DC: Island Press.
- EEM-España (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España) 2011. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados. *Fundación Biodiversidad*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- Ewel, K. 1997. Water quality improvement: evaluation of an ecosystem service. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C. Páginas 329-344 en G. Daily, editor.
- Ewel, J.J. and Whitmore J L., 1973. The Ecological Life Zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *Research Paper ITF-18*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Institute of Tropical Forestry, San Juan, P.R.
- FAO 1994. Aspectos claves de las estrategias para el desarrollo sostenible de las tierras áridas. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, ISBN 92-5-303318-5
- Gómez Sal, A. 1998. Valoración multicriterio del desarrollo a escala local. *Ecosistemas*, 24/25:40-48
- Gómez Sal, A. 2001. Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En Labrador, J. y Altieri, M.A. (eds.), *Agroecología y Desarrollo*. Mundi Prensa, pp. 83-119.

- Gómez Sal, A. 2004. Sostenibilidad ecológica: espacios y oportunidades para un reto inaplazable. *Quórum*. 10:23-43, Universidad de Alcalá, Madrid.
- Gómez Sal, A. 2006. La naturaleza en el paisaje. Paisaje y pensamiento. Maduruelo, J: (Coord.); Abada eds., Madrid, 83-106 pp.
- Gómez Sal, A. 2007. Los puntos críticos de la sostenibilidad. Perspectivas desde Europa y América Latina. *Actas I y II Encuentro Hispano Americano sobre Desarrollo Sostenible*. Gob. De Aragón 82-101 p.
- Gómez Sal, A. 2009. Veinte años desde el informe Brundtland. Razones para una ciencia de la sostenibilidad. *Ambienta*, 88: 28-45. Ministerio Medio Ambiente, Rural y Marino. Madrid
- Gould, W.A., Alarcón, C., Fevold, B.,... Ventosa, E. 2007. The Puerto Rico Gap Analysis Project. *Volume 1: Land cover, vertebrate species distributions, and land stewardship*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR. 165 p.
- Grau, H. R., T. M. Aide, J. K. Zimmerman, ..., and X. Zou. 2003. The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico. *Bioscience* 53:1159-1168.
- Hejnowicz A., Raffaelli D., Rudd P., Piran C, White C. 2014. Evaluating the outcomes of payments for ecosystem services programmes using a capital asset framework. *Ecosystem Services*. 9 83–97.
doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.001
- Helmer, E. 2004. Forest conservation and land development in Puerto Rico. *Landscape Ecology* 19:29-40. doi: 10.1023/B:LAND.0000018364.68514.fb
- IPCC 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- LaGro, J. A. 2001. Landscape Ecology. *eLS*. DOI: 10.1038/npg.els.0003247
- Lhumeau A., Cordero D. 2012. Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático. UICN, Quito, Ecuador. 17 pp.

- Lugo A. 2010. *Novel tropical forest: Nature's response to global change*. Mongabay.com Open Access Journal - *Tropical Conservation Science* – Special Issue Vol.6 (3):325-337, 2013
- Marxuach, S. M., 2011. Sesenta meses de contracción económica. *Periódico Claridad*. p. 2. 17 de mayo de 2011.
- Mc Donough M., Braungart W. 2001. The next industrial revolution. In *Sustainable Solutions*. Charter M. and Tishner U. editors, Greenleaf Publishing, UK
- Naidoo, R., A. Balmford, R. Costanza, B... T.H. Ricketts, 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *PNAS* 105(28): 9495–9500.
- PNUMA 2007. *Perspectivas del medio ambiente mundial GEO4 medio ambiente para el desarrollo*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. http://web.unep.org/geo/GEO4/media/GEO4_SDM_Spanish.pdf
- Quiñones, A. 2011. El Fracaso del Plan Fortuño. *Periódico Claridad*, p. 9. 5 de mayo de 2011
- Quiñones F., Torres S. 2012. El Clima de Puerto Rico. http://www.recursosaguapuertorico.com/Clima_PR_for_Web_Page_2005_rev_Jan2012.pdf
- Quiñones M. 2015. El problema de Puerto Rico es estructural. *Nodal economía*. <http://nodaleconomia.am/el-problema-de-puerto-rico-es-estructural-martha-quinones-dominguez/>
- Rodríguez L. 1987. Desarrollo económico comunitario: Un modelo para Puerto Rico. *Tesis de maestría*. Departamento de Planificación, Universidad de Puerto Rico.
- Rodríguez L. 2011. La seguridad alimentaria en Puerto Rico: un reto de sostenibilidad. <http://prsostenible.org/seguridad-alimentaria-2/>
- Seguinot-Barbosa, J.P. y Melendez-Lázaro. 2010. Gestión del litoral y política pública en Puerto Rico: Un diagnóstico. *Red IBERMAR (CYTED)*, Cádiz, 145 - 174 pp.

TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2013 Guidance Manual for TEEB Country Studies. Version 1.0.

WRI – World Resources Institute, 2008. The Corporate Ecosystem Services Review: Guidelines for Identifying Business Risks & Opportunities Arising from Ecosystem Change.

WRI World Resources Institute, 2015. La riqueza del pobre – Gestionar los ecosistemas para combatir la pobreza. *Ecoespaña*-Instituto de Recursos Mundiales en colaboración con el PNUD, el PNUMA y el Banco Mundial. Madrid-Washington, DC: ECOESPAÑA.

Capítulo II Área de estudio y Métodos generales



1. Fisiografía general de Puerto Rico

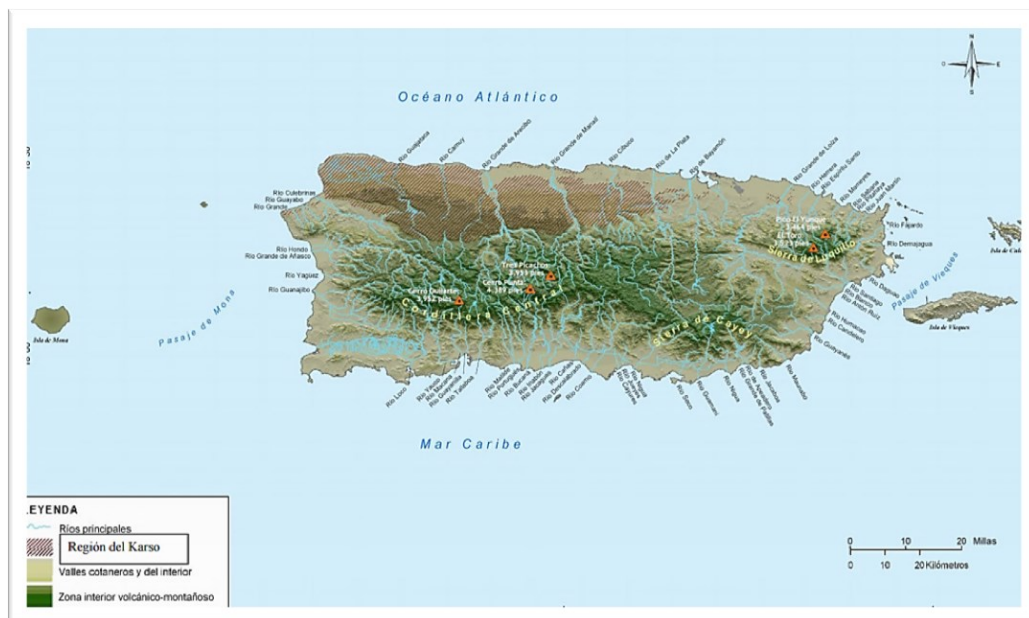
El geomorfólogo Monroe Watson (1977), clasificó la Isla de Puerto Rico en tres zonas principales: la del Interior Montañoso, la del Carso Norteño y la de Los Llanos Costaneros. Cada una de estas zonas exhibe características únicas en su relieve. El Interior Montañoso, la de mayor extensión, se sitúa a lo largo del eje central oeste-este de la Isla, en la Cordillera Central que se extiende desde la costa oeste cerca de Mayagüez hasta Aibonito, donde la cordillera conecta con la Sierra de Cayey, acoplándose finalmente con la Sierra de Luquillo hasta Fajardo en el extremo este. Esta cadena de montañas, con picos que alcanzan hasta 1.338 msnm (Cerro Punta en Jayuya), presenta una frontera que genera pendientes y laderas hacia los valles de las regiones Norte y Sur. Esta divisoria está desplazada hacia el sur dos terceras partes del ancho de la Isla, por lo que las cuencas mayores y los ríos de mayor longitud se ubican en la vertiente norte.

En el sureste, la Sierra de Cayey forma dos bifurcaciones conocidas como las sierras de Guardarraya y Panduras. La Sierra de Luquillo es la prolongación hacia el este de la Cordillera Central, actuando como divisoria entre los municipios de Juncos y Canóvanas. En esta sierra se encuentran las zonas de lluvias copiosas del Bosque Nacional El Yunque (protegido y manejado por gobierno federal de los Estados Unidos), con promedios anuales de hasta 431 cm. Zonas igualmente importantes de lluvias abundantes ocurren en los bosques estatales de Guavate y Carite, cerca de Cayey, así como en los de Toro Negro, Río Abajo, Susúa y Maricao, hacia el centro de la Isla, todas ellas protegidas con la categoría de Bosque Estatal de Puerto Rico. La existencia de estas divisorias de orientación perpendicular a la dirección dominante de los vientos alisios comúnmente es causante de una sombra de lluvia en la Región Sur, incluyendo el Valle de Lajas en el extremo suroeste de la Isla, donde predomina un clima de bosque seco típico de las zonas tropicales relativamente áridas. Otros elementos importantes de la fisiografía de Puerto Rico son la Región del Karso del Norte, los valles aluviales de las Regiones Norte y Sur; y los valles interiores de Caguas, Cayey y Cidra (Quiñones, 2012a). Las interacciones del clima con los

elementos fisiográficos y la geología de la Isla son la base de la hidrología y los recursos de agua (Nieves *et al*, 2016).

La superficie de Puerto Rico, estimada en 8710 km², incluye 134 cuencas hidrográficas de tamaño y configuración diversa, formadas por quebradas, ríos y zonas de drenaje indefinido en áreas de rocas calizas y costaneras. Las cuencas principales incluyen áreas situadas en las tres cadenas mayores de montañas de la Isla, incluyendo la Cordillera Central, la Sierra de Cayey y la Sierra de Luquillo (El Yunque). La lluvia en la zona superior de las cordilleras es copiosa, resultando en escorrentías que alimentan numerosas quebradas y ríos que configuran los valles costaneros formados en parte por materiales de aluvión fluviales y en parte por la emergencia de depósitos marinos. Estos depósitos (aluviales y marinos) han formado acuíferos de importancia en las regiones norte y sur, alimentados por la escorrentía que se infiltra al subsuelo en las laderas de las montañas y los canales de los ríos. La Figura 1 ilustra la red de quebradas principales y ríos en la Isla, sobre la cual se han sobrepuesto los contornos de la lluvia promedio anual, enfatizando los espacios de lluvia copiosa, particularmente en el Bosque Nacional El Yunque en la Región Este.

Figura 1 Fisiografía de Puerto Rico, rasgos generales (DRNA, 2004)



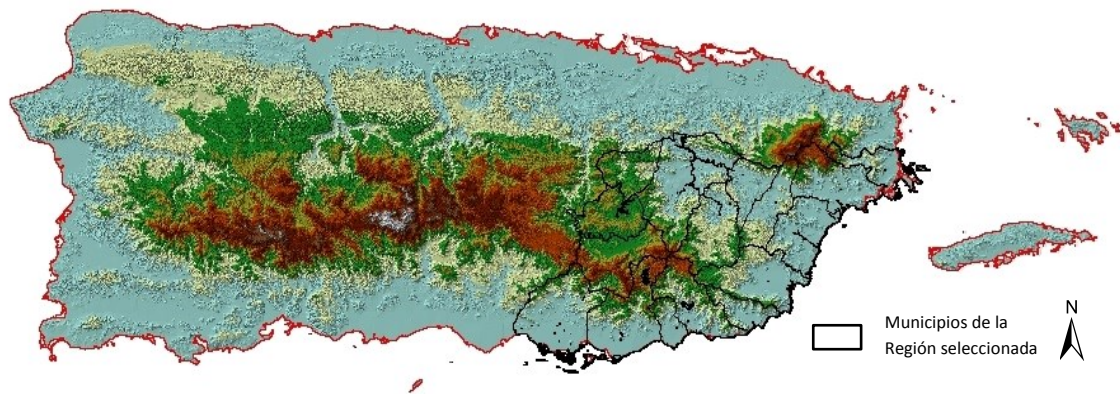
2. Selección del área de estudio

Como se ha visto en el capítulo anterior, la situación político-fiscal de Puerto Rico reclama una reforma hacia la producción estable y sostenible para poder aspirar a una seguridad económica, energética y alimentaria (Marxuach, 2011). Los esfuerzos llevados a cabo para impulsar objetivos de planificación territorial y aprovechamiento sostenible de los recursos tienen la connotación de apoyar la producción local. Esta situación actual débil también se contempla en términos fiscales, de recaudación, lo cual requiere que el país se renfoque hacia una cultura de producción endógena para poder avanzar hacia el alivio en la dependencia (Quiñones, 2015). Por esta razón, al estudiar componentes que contribuyen al desarrollo sostenible es imprescindible analizar las posibilidades del territorio tomando en consideración los recursos ecológicos, geográficos, sociales, culturales, de infraestructura y humanos (Rodríguez, 2009). Más allá de la definición del área de estudio, este capítulo pretende argumentar las razones por las que hemos seleccionado la región centro-sur oriente del país, para investigar una propuesta de planificación agraria, cuyo objetivo es la identificación de agroecosistemas capaces de suministrar los productos básicos más demandados (capítulo V). Dentro de esta región, se ensayarán también distintas metodologías para la evaluación de los servicios ecosistémicos en zonas con problemáticas de desarrollo y gestión diferentes.

2.1. Área geográfica para evaluar el potencial de producción agraria sostenible

Presentamos a continuación las razones que avalan la selección de la región centro-sur oriental de Puerto Rico (Figura 2), como área general de este trabajo de tesis doctoral. Comprende 16 municipios en una extensión geográfica de 1.860 km².

Figura 2 Situación del área de estudio. Región centro-sur oriental del país.



Los argumentos principales pueden resumirse como sigue:

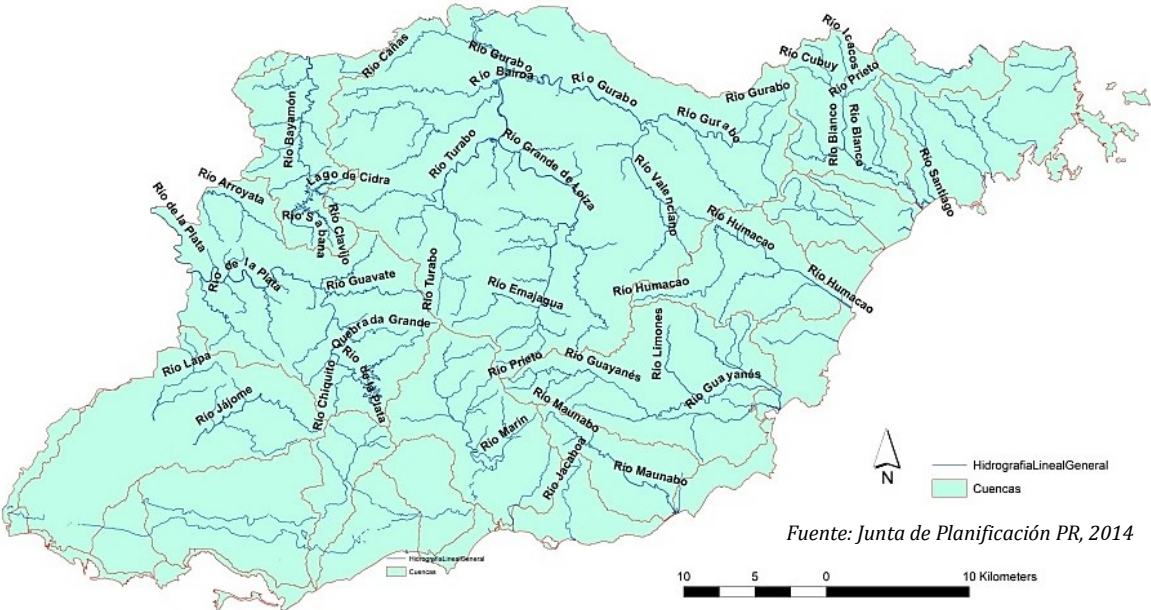
- Diversidad socio-económica. La región presenta en un espacio relativamente cercano una variedad importante de situaciones respecto al desarrollo. Como puede verse en los mapas que se presentan a continuación, incluye diversidad demográfica, de empleo, infraestructuras, etc., entre los municipios que la componen.
- Diversidad geográfica y de ecosistemas. La disposición del relieve y la dirección de los principales vientos responsables de la lluvia, determinan una variedad de situaciones que abarca desde bosques muy húmedos, hasta zonas semiáridas en el sur.
- Proximidad a la capital del país. La zona más densamente poblada de Puerto Rico (el área de la capital, San Juan) queda muy bien comunicada con esta región, lo que favorece la salida de los productos agrícolas al mercado.
- En la región existen diferentes problemáticas importantes de gestión de recursos, adecuadas para explorar la relación entre la sostenibilidad de los usos humanos, los servicios de los ecosistemas y el territorio como lugar donde se sitúan los recursos. Algunas de ellas son objeto de estudio en los capítulos de esta memoria.

Para establecer estrategias de producción agraria local, se debe determinar en primer lugar, una escala geográfica que permita dirigir la gestión gubernamental y comunitaria hacia un modelo de producción basado en las condiciones específicas del área seleccionada.

La información física que avala la selección del área de estudio, se presenta a continuación.

- *Ecosistemas*, se tuvo en cuenta el estado de conservación de los ecosistemas actuales para evaluar su capacidad de sustentar usos agrarios, basados en la diversidad e integrados en un esquema de ordenación territorial más amplio que permita compatibilizar distintas funciones. En consecuencia también se tomaron en consideración los servicios de los ecosistemas y su capacidad para establecer alternativas de producción agraria, que sean capaces de mantener en lo posible los servicios de regulación.

Figura 3 Ríos de la región



- *El recurso agua*, el área contiene 23 cuencas hidrográficas; se identificaron acuíferos subterráneos, cobertura vegetal, precipitación media anual y temperatura media anual.
- *Vientos*, la intensidad y frecuencia del viento para evaluar la posibilidad de energía eólica, a distintas escalas.
- *Geología y tipos de suelos*, la capacidad de los suelos para uso agrícola, y capacidad para acoger establecer diversos tipos de producción.

Respecto a la información de carácter socioeconómico, e infraestructuras, los mapas elaborados como información sobre el área seleccionada, fueron:

- *Población*, habitantes por municipio. La población se concentra en el eje de comunicaciones entre la capital y el sur y oeste de la isla, en especial en los municipios de Caguas, Cayey y Gurabo.

Figura 4 Población por Municipios †

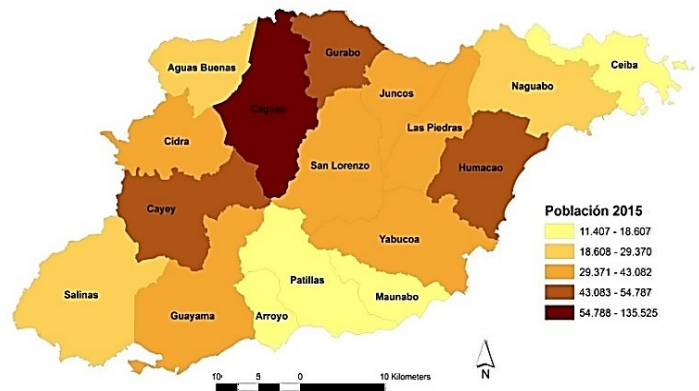
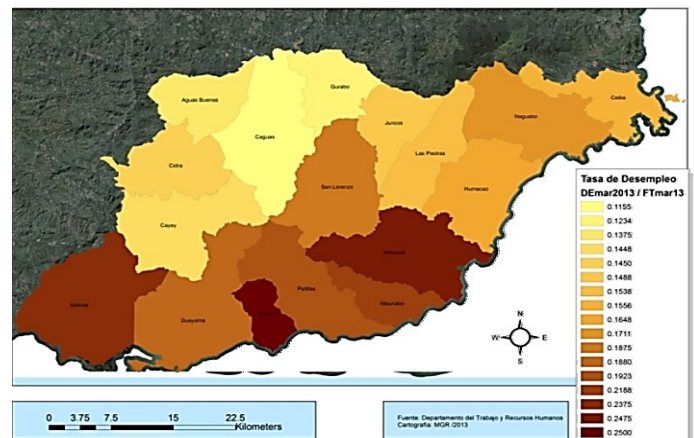


Figura 5 Tasa de desempleo †

- También en la zona costera, turística y portuaria de Humacao.
- *Ingreso*, ingresos según el Censo de los municipios, para establecer tendencias económicas.
- *Tasa de desempleo*, fuerza laboral sin oportunidades actuales de empleo. Como puede verse el desempleo es mayor en el sur del área seleccionada, la situada al sur de la sierra de Cayey.



Fuente de mapas: Censo, 2015,
 †Colores oscuros representa valores mayores.

- *Participación laboral*, número de habitantes empleados en el área.
- *Educación*, abandono escolar y edades para establecer estrategias de educación sobre producción y empresarismo para auto empleo.
- *Zonas históricas*, identificación y documentación de las zonas que forman parte del patrimonio histórico.
- *Arqueología*, para establecer redes arqueológicas y diseñar propuestas de conservación y manejo por parte de las comunidades.
- *Espacios naturales con designaciones de protección del gobierno*: Reservas Naturales Estatales y Federales, se analizaron las determinaciones legales de las diferentes designaciones para establecer sus posibilidades de producción.
- *Reservas Agrícolas*, áreas protección designadas por el

Figura 6 Fuerza Trabajadora ‡

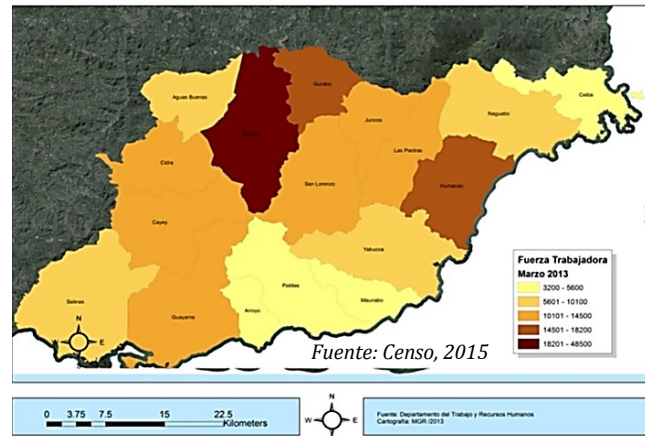


Figura 7 Reservas agrícolas y fincas de la Autoridad de Tierras de PR*

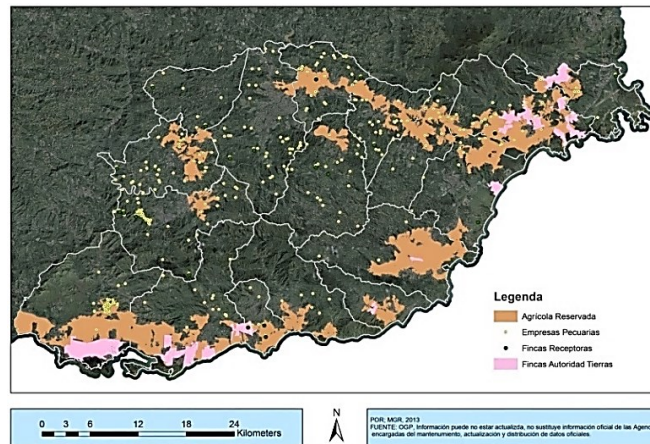
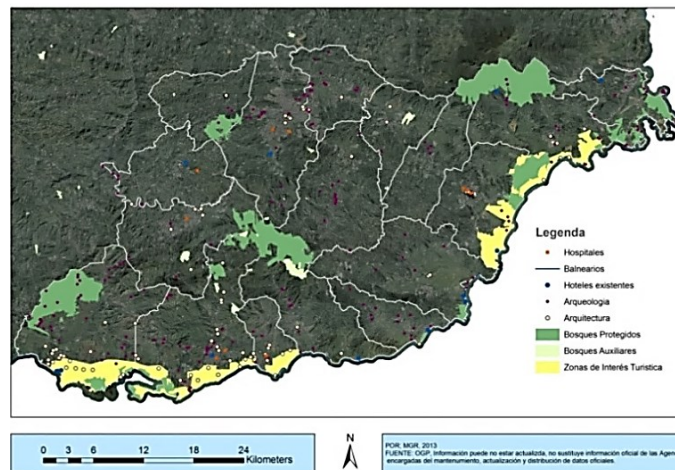


Figura 8 Bosques Estatales (verde) y zonas de interés turístico (amarillo)*



*Fuente de mapas: Junta de Planificación de Puerto Rico, 2014
 ‡Colores oscuros representa valores mayores.

gobierno estatal, identificadas por sus características óptimas para la agricultura.

- *Patrimonio Cultural determinado por el Instituto de Cultura de PR*, fundamental para una estrategia de producción enfocada al mejor uso y manejo del patrimonio cultural, para así maximizar su conservación.
- *Áreas de Interés Turístico, por la Compañía de Turismo*, identificación de las áreas de alto valor e interés para propuestas de manejo regional.

Otros elementos considerados en la región:

- *Transporte*, la identificación de una infraestructura vial apta para nuevas actividades de producción.
- *Infraestructura pública*, los edificios públicos son un activo para la región por lo cual es importante su reconocimiento.
- *Muelles y aeropuertos*, en una propuesta de producción con proyecciones de comercialización en el futuro, es importante conocer la infraestructura que pueda posibilitar actividad comercial con otras islas del caribe.

El potencial de producción evaluado provee el marco para

Figura 9 Red vial*

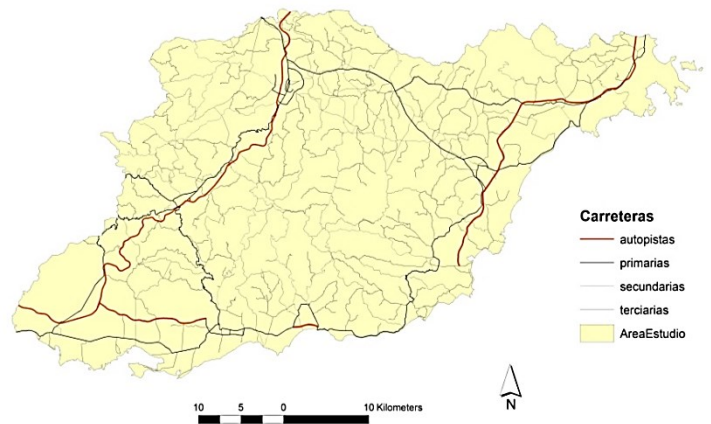
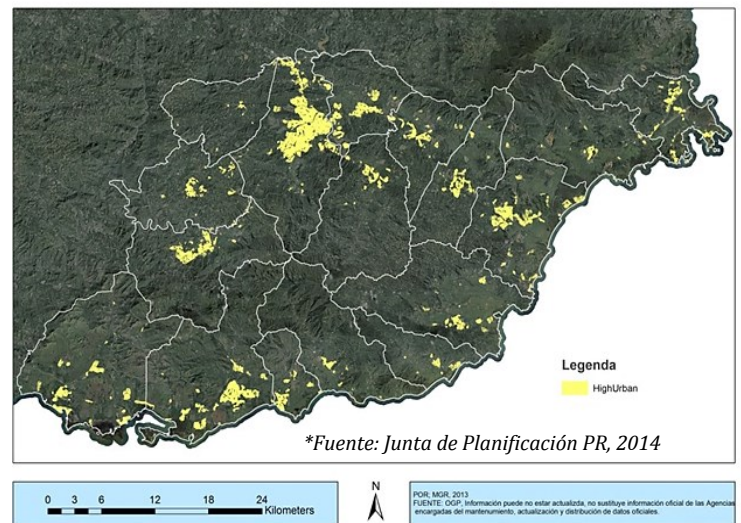


Figura 10 Áreas urbanas de alta densidad*



definir la región sur oriental como una viable para establecer nuevos espacios de producción.

Otros datos importantes de esta región que han sido considerados son:

1. La Sierra de Cayey donde se encuentra el Bosque Estatal de Carite, el cual representa un espacio de fácil acceso para la ciudadanía. En este, se promueve el uso sostenible del turismo de naturaleza en relación con eco-servicios culturales (recreación, educación, de esparcimiento, etc. (MA, 2005). También se favorece la silvicultura y extracción sostenible de fibras y plantas medicinales de bosque húmedo.
2. Las cuencas hidrográficas de los ríos Valenciano y Gurabo que drenan la Sierra de Luquillo (parte sur de El Yunque), y son la fuente de agua para el embalse Carraizo, que abastece al área metropolitana de San Juan.
3. El llano aluvial del Valle del Turabo, un valle interior donde se encuentran acuíferos subterráneos que representan una fuente de aguas importante para mantener diversos tipos de producción.
4. Los vientos alisios en Puerto Rico tienen una procedencia del del noreste, lo que establece condiciones ambientales favorables en la región para los proyectos de energía eólica.
5. El turismo sostenible (ecológico, cultural y médico) tiene enorme potencial en la región, definida por su abundancia de bosques y playas.
6. Los municipios de Naguabo, Humacao y Yabucoa en la costa oriental cuentan con un valle costero extenso, con amplio potencial agroecológico.

2.2. Descripción fisio-geográfica de la región de estudio

Geología

Puerto Rico tiene rocas que datan desde el periodo Jurásico hasta principios del Cuaternario (Donnelly, 1996). Se cree que a mediados del Paleógeno y acabando en algún tiempo del Neógeno el arco de islas volcánicas se fue desplazado hacia el norte

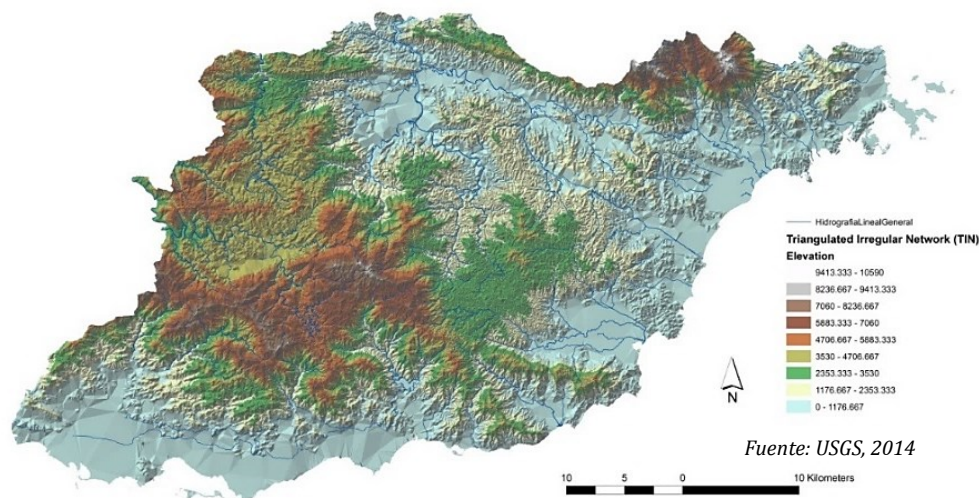
y luego hacia el este entre la placa Norteamericana y la Sudamericana. Puerto Rico se encuentra en la Placa del Caribe y se formó por un contacto convergente entre dos cortezas oceánicas. La Fosa de Puerto Rico al norte de la Isla, es la mayor evidencia de esta convergencia. La Isla emerge justo cuando se inicia la gran extinción de especies en el periodo Jurásico.

La gran mayoría del terreno de Puerto Rico procede de la era Mesozoica, durante el periodo Cretácico. En el área de estudio se distinguen varios tipos de rocas entre las cuales se observan depósitos cuaternarios de aluvión y rocas del Eoceno, Paleoceno y Cretácicas, así como volcánicas e intrusivas (Quiñones, 2012b). El principal valle aluvial interior de toda la Isla se encuentra dentro del área de estudio (el Valle del Turabo) junto con depósitos aluviales costeros.

Modelo de Elevación

En el modelo de elevación del terreno (TIN, Red Irregular Triangulada o siglas en inglés) se puede observar alturas de hasta 1.055 m en el área del Bosque El Yunque (Fig. 11). El relieve de la región es irregular, mostrando valles interiores, zonas con pendientes moderadas y montañas elevadas con pendientes abruptas. El área central, la Sierra de Cayey comprende una amplia zona montañosa que alcanza una altura de 890 m. Al norte de esa área se encuentra el llano interior del valle del Turabo, a una altura de 117 msnm.

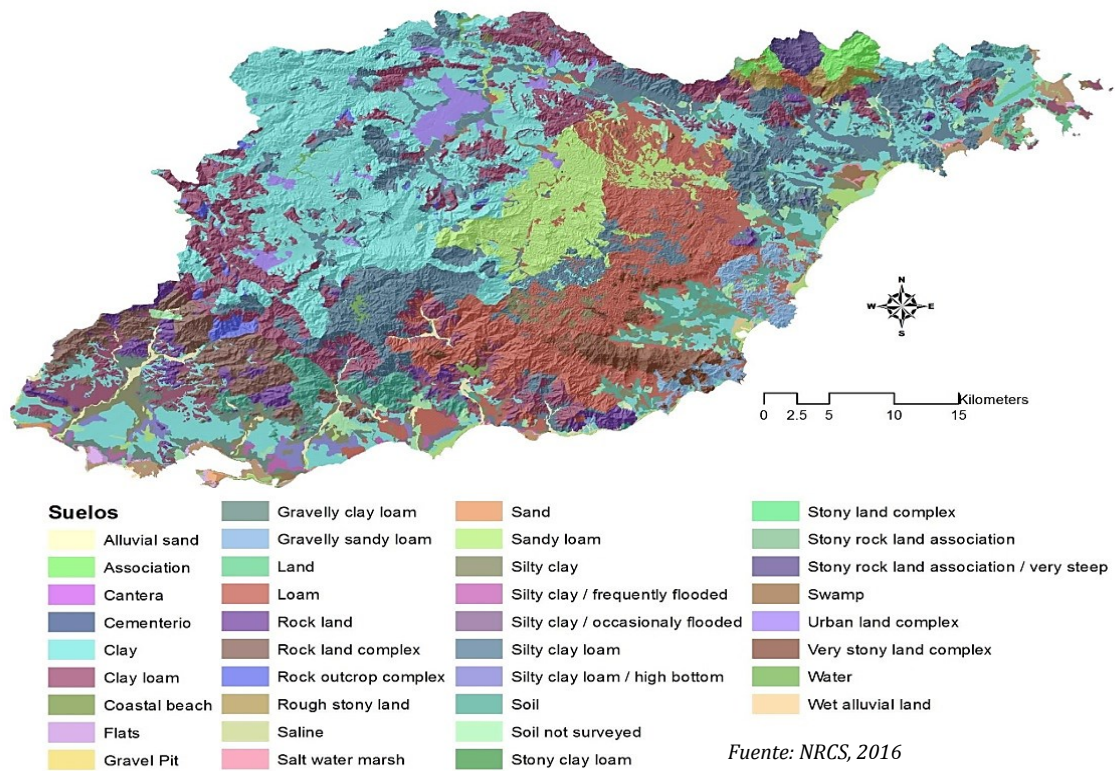
Figura 11 Modelo de elevación



Tipos de suelos

En el área de estudio destacan los tipos de suelos franco-arcillosos, limosos y arenosos. La complejidad de suelos es alta por la variedad de materiales y zonas climáticas; por ejemplo, en la zona sur se observan suelos de zonas secas con topografía moderada, conos aluviales, con profundidad y buen drenaje (Quiñones, 2012c).

Figura 12 Tipos de suelos

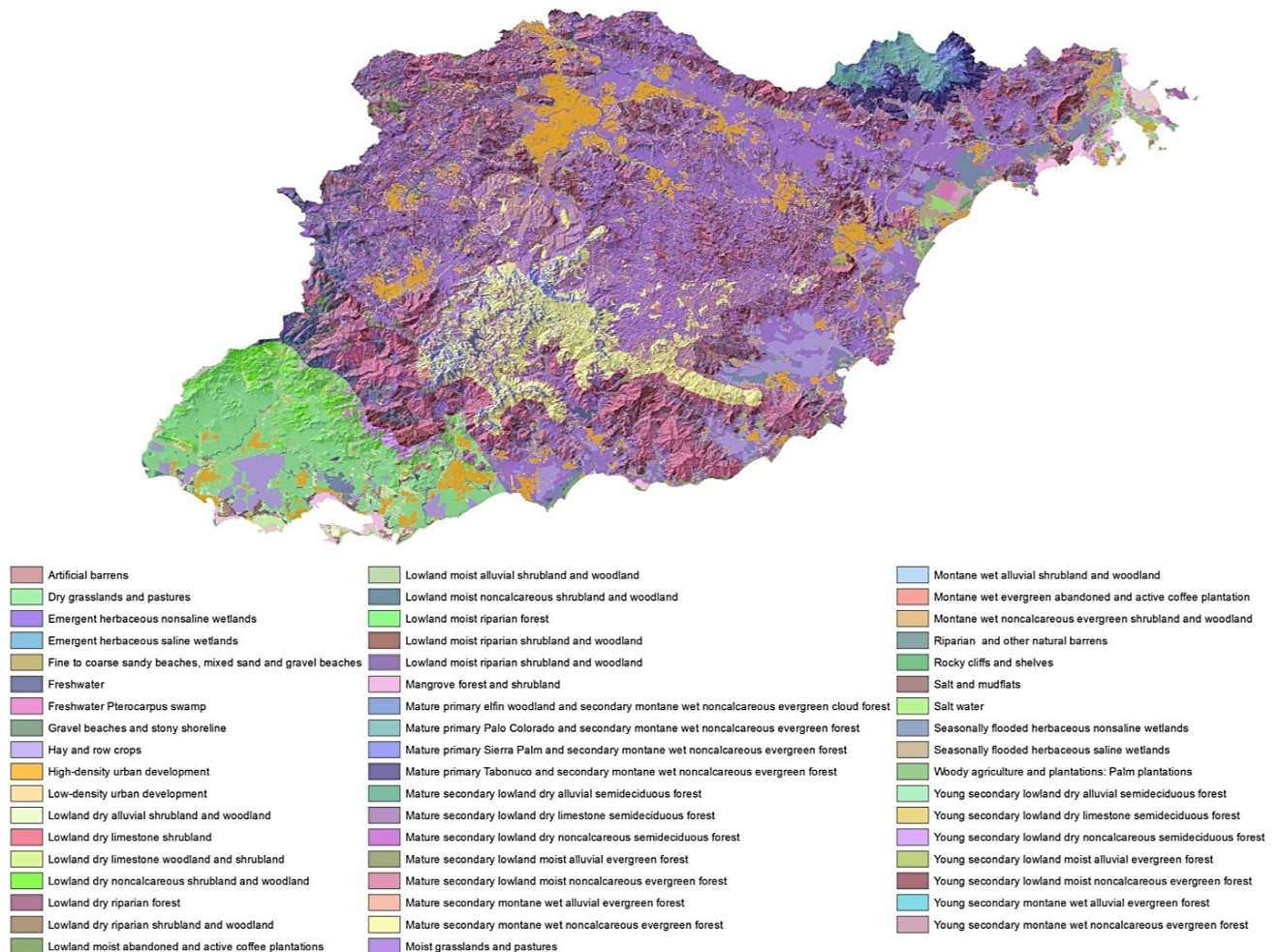


Ocupación de suelos

El mapa de ocupación de los suelos de la región (el cual contiene ecosistemas naturales, áreas urbanas y redes viales) fue elaborado por el Instituto Internacional de Bosques Tropical (Gould *et al*, 2008). En este, se reconocen varios tipos de usos del suelo. En la región, se distingue una amplia extensión de pastizales semi-húmedos que ocupa la mayoría del territorio, luego polígonos de bosques

secundarios jóvenes semi-húmedos de zonas bajas y bosques secundarios maduros semi-húmedos de zonas bajas. Otras categorías de ocupación territorial son los pastizales de zonas bajas secas y, los árboles y arbustos semi-húmedos de zonas bajas, y bosques maduros húmedos secundarios de montañas. El área total tiene 1.860km² y un área costera de 110 km.

Figura 13 Cubierta de suelos y ecosistemas, Gould, 2008



Precipitación y temperatura promedio

Los mapas de precipitación y temperatura anual promedio se obtuvieron del “Caribbean Landscape Conservation Cooperative” (2016). En el área de estudio, el rango de precipitación anual media es de 859-4401mm, siendo la sierra de Luquillo donde más llueve y por la tendencia de los vientos alisios del noreste, se dispersa hacia la zona sur oeste, hacia el centro de la región llegando poca precipitación al sur (Fig. 15). En cuanto a las temperaturas, la media anual es 30°C en las zonas más bajas de la región. En zonas más altas y boscosas la temperatura tiende a ser más baja estando la media en unos 26°C anuales (Quiñones, 2012d).

Figura 14 Temperatura promedio

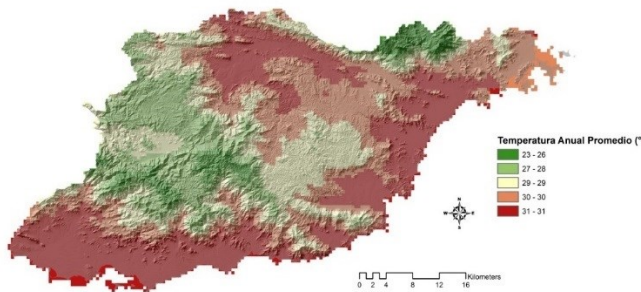
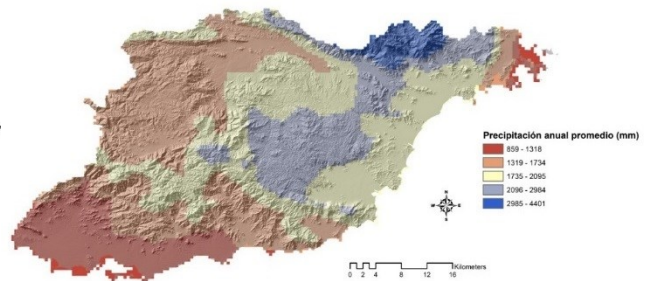


Figura 15 Precipitación promedio

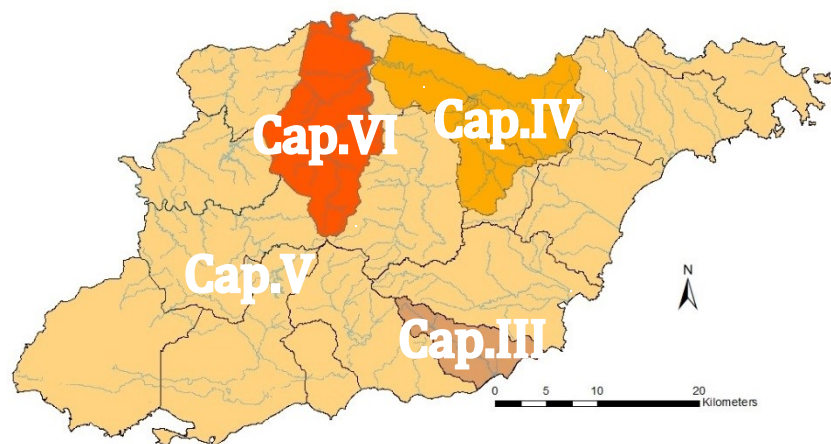


3. Áreas de estudio de los diferentes capítulos

Aunque las evaluaciones que constituyen la base de los distintos capítulos de este trabajo se inscriben en la zona previamente descrita, cada uno de ellos su propia escala geográfica (Fig. 16) y ámbito administrativo de aplicación. El capítulo referente a una evaluación agroecológica, con propuestas de nuevas áreas de cultivos, es el único que comprende toda el área regional, abarcando los dieciséis municipios (Capítulo V). El capítulo dirigido a evaluar la cubierta vegetal como mitigadora de erosión, comprende dos subcuencas interiores afluentes de un embalse y afecta a los municipios de Gurabo, Juncos y parte de Las Piedras (Capítulo

IV). Otro capítulo es referente a generar un modelo para evaluar la sostenibilidad de los usos de los suelos y su representación en el territorio, relacionándolo con la capacidad de mitigar eventos naturales, se llevó a cabo en una cuenca hidrográfica abierta hacia el mar en el sureste de la isla, que coincide con los límites territoriales de un municipio (Capítulo III). Finalmente, un capítulo donde se presenta y discute la herramienta de planificación estratégica para ser manejada en la gestión pública, abarca de nuevo el ámbito municipal en este caso de una importante área urbana, la segunda de Puerto Rico por el número de habitantes (Capítulo VI).

Figura 16 Áreas de estudio de las diferentes evaluaciones en esta tesis.



En cuenca hidrográfica del Río Maunabo, se aplicó el Modelo de evaluación de la Sostenibilidad Ecológica, expuesto en el capítulo III de esta memoria. En la cuenca hidrográfica del Río Gurabo/ Valenciano, se evaluaron los modelos de pérdida de suelos a partir de escenarios evaluando los efectos de en modificar la cubierta vegetal. Ese trabajo se presenta en el capítulo IV de esta memoria. El trabajo que muestra un procedimiento para la identificación y propuesta de agroecosistemas para suministrar productos básicos demandados por la población, se presenta en el capítulo V. El Municipio de Caguas es el de mayor población en la zona de estudio y forma parte del área metropolitana de Puerto Rico, el capítulo VI de este trabajo se presenta un método para incluir las dimensiones del desarrollo,

según el modelo de sostenibilidad ecológica propuesto por Gómez Sal (2004) en la planificación estratégica a escala municipal.

4. Métodos generales por capítulos

El resumen de los métodos presentados a continuación expone una visión general. El detalle de las metodologías empleadas para cada ejercicio se encuentra el capítulo correspondiente.

4.1. Sistema de Información Geográfica

La metodología general aplicada en este trabajo, tiene como soporte básico, el uso de los sistemas de información geográficas, los cuales cuentan con una amplia gama de posibilidades de análisis para el traslado al territorio de planteamientos geográficos y eco-sociales (socio-ecosistémicos). Se considera asimismo como una herramienta básica para trabajar en ecología del paisaje. Un *Sistema de Información Geográfica* (SIG o GIS) consiste en la integración organizada de *hardware, software y datos geográficos* diseñada para capturar, almacenar, manejar analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (Del Bosque *et al*, 2012). El programa utilizado para la elaboración de todos los ejercicios de este trabajo fue el “suite” de ArcGIS de ESRI, el cual comprende de ArcMap, ArcCatalog, ArcScene y ArcGlobe. Particularmente se hizo uso del programa de ArcMap con varios de sus módulos y extensiones mayormente dentro del “Análisis Espacial”.

Herramienta de SIG

Algunos de los comandos más utilizados fueron los relacionados con el módulo de geoprocесamientos en ArcGIS. Para poder uniformar toda la información geográfica y llevarla a la escala adecuada para las distintas áreas de estudio, fue necesario establecer procesos de cortes, uniones, funciones y otras ediciones en el programa. Estas herramientas son necesarias para la primera etapa de todos los ejercicios. La información geográfica vectorial debe pasar por algún proceso de

geoprocesamiento para eventualmente ser preparada para su utilización en otros procesos de análisis geográfico.

En todos los capítulos de análisis geográfico fueron utilizadas las herramientas de análisis espacial (“Spatial Analysis”) en el ArcGIS. Se trata de una herramienta de ArcMAP que cuenta con múltiples módulos de diversos tipos para llevar a cabo análisis en plataforma SIG con variables en formato ráster. Otras herramientas de ArcGIS utilizadas son extensiones del Data Mart de NRCS para manipular datos de usos de suelo, Image Analysis, herramientas de operaciones de interoperabilidad, multidimensión, de edición y geo estadísticas.

Datos generales

Este trabajo persigue, desde diferentes perspectivas, la definición de modelos de sostenibilidad, tanto para diagnosticar problemáticas en el uso de territorio, como para el estudio de los servicios de los ecosistemas. Los trabajos efectuados en los diferentes capítulos tienen como principal base geográfica de uso de suelos, el GAP Analysis. Se trata de un mapa de cobertura y usos de suelos, elaborado por el Proyecto GAP de Puerto Rico (Puerto Rico Gap Analysis Project—PRGAP), en el Instituto de Dasonomía Tropical Federal (Gould *et al*, 2008). Es una colección integradora de información sobre la cubierta del suelo en la Isla. Está basado en la metodología desarrollada por el programa nacional GAP de los EEUU, para determinar el grado en que las especies y sus comunidades naturales, están representadas en los espacios actualmente protegidos. Las especies o comunidades que no estén bien representadas son consideradas “gaps” o agujeros en el plan de conservación.

El PRGAP tiene cuatro módulos principales: mapeo de la cobertura del terreno, documentación de las distribuciones de especies de vertebrados, documentación de las prácticas de conservación en las áreas de manejo y un análisis integrando de estos tres elementos. Para desarrollar el PRGAP, primero fue elaborado un mapa de cobertura del terreno de Puerto Rico utilizando imágenes de satélite recientes

(1999–2003) e información sobre clima, geología, topografía, hidrología, e historia del uso del terreno. Luego, se definieron 70 clases de cobertura del terreno en un esquema jerárquico de clasificación basado en las siguientes coberturas básicas: vegetación natural, desarrollo urbano, y agricultura. La vegetación natural se clasificó en bosque cerrado, bosque abierto, arbustos o pastizales.

Las clasificaciones de bosque cerrado y pastizales se subdividen en seco, húmedo, semi húmedo o inundado. Estas unidades son entonces diferenciadas entre si ocurren en suelos derivados de caliza, aluvial, serpentina o substratos no calcáreos. Varios de los tipos de bosque cerrado fueron clasificados de acuerdo a su edad sucesional (por ejemplo, primario, secundario maduro, o joven secundario). Los manglares fueron clasificados en arbolado, herbáceo, salino o no salino, y temporalmente inundado o emergente. Finalmente, la información sobre comunidades de especies dominantes en la unidad de cobertura de terreno, fue incorporada cuando ésta estuvo disponible (Gould *et al*, 2008).

4.2. Métodos empleados en el capítulo III

Técnicas de evaluación multicriterio (EMC) en Sistemas de Información Geográfico (SIG).

En el capítulo “*Representación territorial de escenarios de sostenibilidad y su aplicación a la prevención de riesgos naturales*”, se desarrolla un método para la evaluación de los servicios de los ecosistemas relacionados con la mitigación de las inundaciones y de los vientos fuertes. El enfoque empleado fue definido a través de técnicas de evaluación multicriterio incorporadas al Sistema de Información Geográfico y al modelo de evaluación de la sostenibilidad (Gómez Sal, 2004). Entre las primeras se encuentran la Sumatoria Lineal Ponderada (SLP), en inglés “*Weighted Lineal Combination (WLC)*” y el Proceso Analítico Jerárquico, *Analytical Hierarchical Process (AHP)*, todos dentro de la plataforma de SIG. Los análisis de decisión multicriterio en el SIG, son procesos que combinan y transforman la información geográfica espacial en resultados transformados por ponderaciones gráficas (De Cos, 2006).

Sumatoria Lineal Ponderada (SLP)

La sumatoria lineal ponderada está basada en los conceptos de pesos promedios en los cuales las variables continuas son estandarizadas en un rango numérico común y luego sumadas en función de las significancias de los pesos ponderados (Gómez & Barredo, 2005). El evaluador asigna pesos de importancia relativa a los niveles de información superpuestos. El total de las puntuaciones para cada alternativa se obtiene multiplicando la importancia de los pesos asignados a cada atributo por el valor otorgado a la alternativa y luego sumándolos los productos.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El Proceso Analítico Jerárquico “Analytic Hierarchy Process” (AHP), introducido por Thomas Saaty (1980), es una herramienta efectiva para tomar decisiones complejas y ayudar a los usuarios a establecer prioridades y tomar las mejores decisiones. Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios (Osorio & Orejuela, 2008), incorpora una técnica útil para verificar la consistencia de las evaluaciones, de esta manera se reduce el prejuicio en la toma de decisiones. En el capítulo de III se utilizó esta técnica para establecer los escenarios de la sostenibilidad a partir de mapas dimensionales comparando las dimensiones evaluadas. En ese ejercicio se empleó el módulo de AHP en el ArcGIS donde se obtuvo mapas de escenarios para diagnosticar la situación de la cuenca hidrográfica bajo estudio.

Modelo de Sostenibilidad Ecológica (MSE)

Los aspectos básicos a evaluar en un modelo de sostenibilidad conllevan un análisis multidimensional de diferentes aspectos, en particular y de forma recurrente y poco crítica son considerados los aspectos ecológicos, económicos y sociales, dando por hecho que la sostenibilidad consiste en mantener un supuesto “equilibrio” entre estos temas. Gómez Sal (2001 y Gómez Sal *et al*, 2003) ha diseñado un modelo de evaluación que parte de una aproximación teórica del concepto de sostenibilidad, en su acepción exigente o fuerte (Daly *et al*, 1994;

Gómez Sal, 2009). En este modelo se considera que los sistemas económico, de producción y ecológico, mantienen una relación jerárquica lineal, respecto a su influencia sobre los recursos. Otros componentes adicionales pueden ser agregados (social, cultural, ético, etc.) y complementan la visión necesaria sobre la sostenibilidad. Los distintos componentes deben ser evaluados de forma explícita, con sus criterios e indicadores específicos (Gómez Sal, 2007) y mantienen compromisos funcionales (*trade offs*, conflictos) que limitan sus posibilidades de alcanzar valores elevados de forma simultánea por parte de las dimensiones. El modelo ha sido aplicado a diferentes escalas territoriales y sistemas de uso de recursos. Una de las principales características es considerar el sistema de producción como un componente básico, generalmente olvidado en la evaluación del desarrollo. Se trata de analizar el “cómo se hacen las cosas” y por tanto en éste sistema, que debe ser coherente con las posibilidades que ofrece la naturaleza, reside el atributo de sostenibilidad. Este “sistema de producción” incluye junto a la producción en sí misma, los aspectos de gestión y aprovechamiento de los recursos y planificación territorial. En este trabajo, los ejes que actúan como dimensiones del desarrollo serán el ecológico, económico, social, cultural y el sistema de producción. A estos cinco ejes cabe añadir un sexto, la dimensión ética, la cual, por su naturaleza, afecta a todas las dimensiones anteriores y puede quedar inherente dentro del ejercicio, como parte del proceso de selección de los elementos, atributos, indicadores, etc., que contribuyen a la evaluación final, separado de las diferentes dimensiones.

Este Modelo de Sostenibilidad Ecológica (MSE) se basa en la evaluación de los ecosistemas para una propuesta de sostenibilidad fuerte. Se consideran valores para establecer escenarios de referencia. Estos son también aplicables al estudio de los servicios ecosistémicos, en este caso, relativos a la mitigación de inundaciones y vientos fuertes en el área definida por una cuenca hidrográfica (Cap. III) y también en la apreciación de las dimensiones del desarrollo a partir de las discusiones comunitarias en los distintos barrios de una extensa área urbana (Cap. VI)

Este Modelo de Sostenibilidad plantea el enfoque multicriterio para evaluar los componentes del mosaico de ocupación del suelo en el paisaje, el plano geográfico. Las dimensiones consideradas en el análisis requieren información organizada siguiendo un esquema de dimensiones-componentes-criterios-indicadores (Gómez Sal 2007; 2013). Desde la perspectiva exigente de la sostenibilidad, se considera importante mantener la integridad de los ecosistemas, la coherencia ecológica como medida de adecuación de los usos (compatibilidad entre el sistema de producción y capacidad de soporte de los ecosistemas, Gómez Sal, 2004) y la sostenibilidad ecológica como referencia (en la línea de Daly & Cobb, 1994; Carpintero, 1999). No todas las dimensiones tienen el mismo peso o importancia, ésta varía según el escenario que se considere, por lo que su conexión funcional no se produce al azar, sino que con independencia de que a efectos de comparación y claridad expositiva se representen en un sistema de ejes equivalentes, las dimensiones mantienen una relación de jerarquía bastante estricta (Gómez Sal, 2007).

Tabla 1. Dimensiones evaluativas consideradas para los diversos sistemas de ocupación de suelos (sistemas de uso de recursos, modelos de desarrollo). Resumen de las principales características, analogías y diferencias. Basado en Gómez Sal (2001) y Gómez Sal *et al.* (2003).

<i>Dimensión evaluativa</i>	<i>Subsistema</i>	<i>Magnitudes</i>	<i>Evaluación</i>	<i>Descriptor del estado del subsistema</i>	<i>Conexión entre subsistemas</i>
Ecológica	Ecosistema	Ecológicas – biomasa, energía, biodiversidad, rareza, información, tiempo, espacio, persistencia, etc.	Eficiencia de distinto tipo, ratios entre las cantidades mencionadas	Estabilidad, integridad, resiliencia, capacidad de recuperación. Valor de conservación, patrimonio natural.	Situado en la base, frágil. Actúa a escala temporal, larga Escasamente dinámico (en comparación con los subsistemas 2 y 3)
Productiva	Sistema de producción (agrícola, urbana, residencial, industrial, etc.)	Físicas, tecnológicas, urbanas, industriales – energía, materiales, trabajo, ocupación física del terreno	Rendimiento, ratio entre insumos, productos, adecuación	Sostenibilidad, coherencia ecológica, mantenimiento de los recursos	Posición intermedia. Uso sensato, crea y mantiene los recursos. Dinamismo medio
Económica	Sistema económico convencional	Monetarias - dinero	Rentabilidad, ratio entre inversiones y beneficios (ganancias)	Vitalidad económica	Dominante, muy dinámico, alta capacidad de control y desestabilización

Cultural	Sistema cultural	Patrimonio – arquitectura, arqueología, artesanías y manufacturas, infraestructuras, conocimientos sobre los recursos, paisaje, cultural, etc.	Originalidad, rareza	Valor patrimonial	Basco, frágil. Resultado de la interacción entre los subsistemas 1 y 2, afectados por 3 y 5
Social	Sistema social	Desarrollo humano – integración social, salud, educación, formación, cultura, etc.	Índices de desarrollo humano y social	Equidad, distribución del bienestar y la riqueza	Posición intermedia entre los subsistemas 2 y 3. Afectados por la degradación de 1 y 4 y las disfunciones del 3

4.3. Métodos empleados en el capítulo IV

USLE/RUSLE

La ecuación universal de pérdida de suelo o USLE (por sus siglas en inglés) su revisión (RUSLE), es un método que utiliza seis factores: erodabilidad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año (Renard *et al*, 1991).

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P$$

El *Factor A*, es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha)-1 año-1. El *Factor R*, es el factor lluvia y escurrimiento, expresada como el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento de agua. Para una tormenta, el EI es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I). El *factor K*, es el de susceptibilidad de erosión del suelo, la tasa de pérdida de suelos por unidad EI para un suelo específico, medido en una porción de

terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua). El factor L , representa el largo de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos en la pendiente específica con respecto al mencionado estándar. El *factor S* es la magnitud de la pendiente, proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.

En el *factor C*, se calcula la ocupación de la cubierta y el manejo en función de la proporción de pérdida de suelo e con respecto a una superficie idéntica en barbecho con labranza continua. Finalmente, el *factor P* es el factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como algunos tipos de cultivos, cercas vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a la labranza en el sentido de la pendiente.

Herramienta del "Raster calculator"

El ejercicio que emplea la ecuación USLE/RUSLE fue ejecutada mediante procesos geográficos (Desmet & Govers, 1996). Con la intención alcanzar el manejo, creación y análisis de los rásters para adecuación de los diferentes factores de la ecuación en el plano espacial, se hizo el cálculo de algebra haciendo uso del "raster calculator" en el ArcGIS. Otros métodos también fueron empleados en el SIG para conseguir los elementos necesarios para el cálculo final de los factores previo al proceso en el "Raster Calculator" como el computo de las pendientes, la dirección y flujo de agua, la acumulación de flujo y la composición de uso de suelo para la estimación del Factor C en ambos escenarios.

4.4. Métodos empleados en el capítulo V

Módulos de análisis espacial y multivariable

Este ejercicio se llevó a cabo en cuatro fases. En la primera se combinaron diferentes niveles de información geográfica de tipo edáfico y climático para identificar los suelos que mejor pueden acoger diez especies de cultivo en Puerto

Rico. Se utilizó “weighted sum” en el “overlay” del módulo de análisis espacial en ArcMap para obtener los suelos que mejor se adecuan según las variables analizadas. Con este método se obtuvieron diez mapas (uno por cada especie evaluada) y finalmente fueron combinados todos para obtener un mapa de adecuación (capacidad de acogida de especies) mediante la misma técnica (ESRI, 2007).

Probabilidad de clases

En otra de las fases de este capítulo se utilizó el método de Probabilidad de Clases, un comando bajo el modulo “Multivariable” en el Análisis Espacial, para analizar los resultados de tipo continuo en la combinación de especies cultivables y obtener categorías (sectores territoriales según su capacidad de acogida) mediante una probabilidad de clases. La herramienta probabilidad de clase produce como salida un ráster multibanda (ESRI, 2016). Con esta herramienta se obtuvieron cuatro clases con el archivo de firma (requerido para el cálculo en el ArcGIS) de las clasificaciones de la combinación de especies según la aptitud del terreno para su cultivo. En estos sectores se evalúan los servicios de los ecosistemas presentes.

Correlogramas, Multidimensional Scaling (MDS), ANOVA

Los análisis de correlación (correlograma) en este capítulo se llevaron a cabo a través de la programación “R”, para estimar las relaciones entre los servicios de los ecosistemas en la región. En un correlograma se puede visualizar las correlaciones de una forma gráfica. Otro de los gráficos para obtener otra visualización de las relaciones entre los servicios ecosistémicos se obtuvo mediante el escalamiento multidimensional o “*Non Metric Multidimensional Scaling*” (NMDS). Es una técnica de ordenación multivariante que trata de representar en un espacio geométrico de pocas dimensiones las similitudes existentes entre un conjunto de objetos (Guerrero & Ramírez, 2012).

También se empleó el análisis de clasificación (cluster con distancia euclidea y el algoritmo de aglomeración UPGMA) para establecer grupos según la aptitud del

territorio para acogerlos (utilizando como variable el índice de aptitud 1 al 5). Este resultado permite proponer modelos de agroecosistemas adecuados a cada zona. Los clusters se realizaron en el programa Statistics.

4.5. Métodos empleados en el capítulo VI

Gobernanza democrática

A través de la gobernanza democrática se obtiene un modelo de gestión pública que incluye la participación de los diferentes sectores sociales que intervienen en las actividades sociales, económicas, ecológicas, culturales y de producción, entre otras, dentro de una localidad. El desarrollo de una ciudad depende de la capacidad de organización y acción de los ciudadanos; es decir, de la capacidad de colaborar en función de objetivos compartidos (Rodríguez, 1987). La gobernanza democrática tiene como finalidad fortalecer la capacidad de organización y respuesta de la ciudadanía para la realización de objetivos basados en el desarrollo humano. La definición de gobernanza que da el movimiento intercontinental de ciudades y regiones para la promoción de la gobernanza democrática territorial (Pascual-Esteve, 2005), AERYC (América, Europa de Ciudades y Regiones), es la siguiente: *“Nuevo arte de gobernar los territorios (el modo de gobernar propio del gobierno relacional), cuyo objeto es la capacidad de organización y acción de la sociedad, su medio es la gestión relacional o de redes, y su finalidad es el desarrollo humano”* (Pascual-Esteve, 2011). Es decir, un modo de gobernar que implica la conducción del desarrollo económico y tecnológico en función de los valores de equidad social, cohesión territorial, sostenibilidad, ética y ampliación y profundización de la democracia y la participación política (Pascual-Esteve, 1999).

Modelo de sostenibilidad ecológica (MSE)

El Modelo de Sostenibilidad Ecológica (Gómez Sal, 2001, 2007), fue empleado nuevamente en este capítulo, pero desde otro acercamiento, en esta ocasión desde la planificación estratégica para un municipio. Una descripción del modelo se detalla en la sección 4.3. En el capítulo VI, se documenta cómo se llevó a cabo un

plan estratégico para el Municipio de Caguas, donde se establecieron unos lineamientos estratégicos a partir de las dimensiones de la sostenibilidad consideradas en el MSE. La base conceptual de este modelo se combinó con el de gobernanza democrática para obtener un plan estratégico desde las comunidades, donde reside mayormente la actividad socio-cultural que incide con otras de producción y económicas. Se estableció un documento adaptando a las prácticas locales cotidianas, donde se refuerzan los criterios de avance hacia el modelo de sostenibilidad deseado para el Municipio.

5. Bibliografía

- Carpintero, O., 1999. Entre la economía y la naturaleza. Los libros de la catarata. Madrid. 382 p.
- Daly, H.E., Cobb J., 1994. For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future. Boston, Massachusetts: Beacon Press.
- De Cos, O. 2006. Los SIG y la lógica difusa como alternativa metodología para delimitar fenómenos territoriales de comportamiento no categórico: aplicación a las áreas de influencia urbana. *Acta de 1 Conferencia Ibérica de Tecnologías de Información*. M.M. Cunha y A. Rocha (eds) Vol 2 pp. 671 -687.
- Del Bosque, I., Fernández C., Martín Forero L., Pérez E. 2012. Los sistemas de información geográfica y la investigación en las ciencias humanas y sociales. Edita: *Confederación Española de Centros de Estudios Locales (CSIC)*.
- Desmet, P., Govers, G 1996. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS - factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 51, n. 5, p. 427-433.
- Donnelly, T. 1996. The Development of Geology in Puerto Rico: An Historical Sketch. Department of Geological Science. State University, NY (in press).
- ESRI 2007. Los tipos de operaciones en análisis espacial.
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/performing-analysis/the-types-of-operations-in-spatial-analyst.htm>
- ESRI 2016. How Class Probability works.
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-class-probability-works.htm>
- Gómez, M., Barredo J. 2005. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ed. RA-MA. P. 43-120, 183-210.
- Gómez Sal, A. 2001. Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En Labrador, J. y Altieri, M.A. (eds.). *Agroecología y Desarrollo*. Undi Prensa. pp. 83-119.
- Gómez Sal, A., Belmontes, J. A., Nicolau, J. M. 2003. Assessing landscape values; a proposal for a multidimensional conceptual model. *Ecological Modelling*. 168: 319-341.

- Gómez Sal, A. 2004. Sostenibilidad ecológica: espacios y oportunidades para un reto inaplazable. *Quórum*. 10:23-43, Universidad de Alcalá, Madrid.
- Gómez Sal, A. 2007. Los puntos críticos de la sostenibilidad. Perspectivas desde Europa y América Latina. *Actas I y II Encuentro Hispano Americano sobre Desarrollo Sostenible. Gob. De Aragón* 82-101 p.
- Gómez Sal, A. 2009. Veinte años desde Brundtland. Razones para una ciencia de la sostenibilidad. *Revista Ambienta*, 88:28-45
- Gómez Sal, A. 2013. Sostenibilidad ecológica y dimensiones evaluativas en la agricultura. *Cuaderno Técnico SEAE*. 73p.
- Gould, W.A., Alarcón C., Fevold B. ..., Ventosa E., 2008a. The Puerto Rico Gap Analysis Project. Volume 1: Land cover, vertebrate species distributions, and land stewardship. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR. 165 p.
- Guerrero F., Ramirez J. 2012. *El análisis de escalamiento multidimensional: una alternativa y un complemento a otras técnicas multivariantes*. Revista electrónica, *La Sociología en sus Escenarios*. Núm. 25
- MA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005. Ecosystems and Human Well-Being— Multiscale Assessments: Findings of the Sub-Global Assessments Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC: Island Press.
- Marxuach, S. M. 2011. Sesenta meses de contracción económica. *Periódico Claridad* p.2, 17 de mayo de 2011
- Monroe Watson, 1977. Geomorfología de Puerto Rico. María Teresa B. de Galiñanes, ed, Geovisión de Puerto Rico. Río Piedras, Editorial Universitaria. Universidad de Puerto Rico.
- Nieves P., Rosa G, Román G., Yassin A. 2016. Geología de Puerto Rico. United States Geological Survey (USGS)
- Osorio, J.C, Orejuela J.P, 2008. Analytic hierarchic process and multicriteria decision making. Application example. *Scientia et Technica* Año XIV, No 39. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Pascual Esteve, J.M, 1999. La estrategia de las ciudades. Los planes estratégicos como instrumento: métodos, técnicas y buenas prácticas. Barcelona: Diputación de Barcelona.

- Pascual Esteve, J.M., 2005. La gobernanza democrática: un nuevo enfoque para los grandes retos urbanos y regionales. *América-Europa de Regiones y Ciudades* (AERYC). Junta de Andalucía
- Pascual Esteve, J.M., 2011. La gobernanza democrática de la seguridad en las ciudades. *La gestió de la seguretat ciutadana*. Papers 53.
<https://ddd.uab.cat/pub/prmb/18883621n53/18883621n53p34.pdf>
- Quiñones, F. 2012a. Fisiografía de Puerto Rico. *Recursos de agua de Puerto Rico*.
<http://www.recursosaguapuertorico.com/Fisiografia.html>
- Quiñones, F. 2012b. Resumen de la geología de Puerto Rico. *Recursos de agua de Puerto Rico*.
http://www.recursosaguapuertorico.com/geologia_de_pr_por_st_y_fq_rev_9jan12.pdf
- Quiñones, F. 2012c. Los suelos principales de Puerto Rico. *Recursos de agua de Puerto Rico*.
http://www.recursosaguapuertorico.com/Los_Suelos_Principales_en_Puerto_Rico.pdf
- Quiñones, F. 2012d. El clima de Puerto Rico. *Recursos de agua de Puerto Rico*.
http://www.recursosaguapuertorico.com/Clima_PR_for_Web_Page_2005_rev_Jan2012.pdf
- Quiñones M. 2015. El problema de Puerto Rico es estructural. *Nodal economía*.
<http://nodaleconomia.am/el-problema-de-puerto-rico-es-estructural-martha-quinones-dominguez/>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. y Porter, J.P. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation. *J. of Soil and Water Conservation* 46: 30-33.
- Rodríguez L. 1987. Desarrollo económico comunitario: Un modelo para Puerto Rico. *Tesis de maestría*. Departamento de Planificación, Universidad de Puerto Rico.
- Rodríguez, L. 2009. Gobernanza urbana y desarrollo regional: Los gobiernos locales en la construcción del futuro de Puerto Rico. *Los gobiernos locales en la construcción del futuro de los países: Gobernanza Urbana y Desarrollo Regional*. AERYC, Junta de Andalucía p. 170
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

Capítulo III. Representación territorial de escenarios de sostenibilidad y su aplicación a la prevención de riesgos naturales.



Resumen

En este trabajo se propone un método para la evaluación de los servicios ecosistémicos de mitigación de inundaciones y vientos fuertes. Se plantea mediante la aplicación de un modelo de sostenibilidad ecológica (MSE), el cual tiene escenarios de sostenibilidad sensata, tradicional, insostenible y empobrecido, integrado a un SIG a través de técnicas de Evaluación Multicriterio y el manejo de un mapa de la cobertura vegetal (en sustitución del estudio de integridad ecológica). Se evaluaron 10 clases de usos del suelo, formadas por ecosistemas y/o zonas de estudio en la cuenca hidrográfica del Río Maunabo en Puerto Rico. Al final se relacionaron los resultados con los mapas de vientos fuertes e inundaciones que aparecen en la Evaluación Integrada de Riesgos Naturales (EIRN), llevados a cabo por la Universidad Metropolitana (UMET) y la Agencia para el Manejo de Emergencias Federal (FEMA). Se pudo relacionar el resultado de la sostenibilidad del uso del terreno con la afectación de los eventos naturales en los mapas de inundaciones en la mayoría de los lugares identificados dentro del escenario de uso clasificado como insostenible. Los mapas de vientos fuertes no fueron relacionados con los resultados de los escenarios de sostenibilidad de la MSE, siendo relacionados con la alta cobertura vegetal. El Plan de Mitigación de Riesgos Naturales para la cuenca del Río Maunabo avala la representación de los escenarios de sostenibilidad tradicional y sensata del MSE en la mayoría de las áreas representadas como altas en riesgo de daños por vientos fuertes por la EIRN. Se relaciona esa diferencia con la importancia de los ecosistemas de montaña en el MSE, lo cual no fue considerado en la EIRN.

Abstract

This paper proposes a method for the assessment of ecosystem services for mitigation of floods and high winds. To reach this, a model of ecological sustainability (MSE) has been integrated into a GIS through two multicriteria evaluation techniques and then with a map of the vegetation covers (replacing the study of ecological integrity). We evaluated 10 classes consisting of ecosystems and / or study areas in Maunabo River basin in Puerto Rico. In the end, the results were related to the maps of high winds and floods that appear on the Integrated Assessment of Natural Hazards in Puerto Rico (IANH), conducted by the Metropolitan University of Puerto Rico (UMET) and the Federal Emergency Management Agency (FEMA). The result of the sustainability of land use could be related to the involvement of natural events in flood maps in most of the places identified within the use scenario classified as unsustainable. The strong wind maps were not associated with the results of sustainability scenarios MSE, being associated with high vegetation cover. Natural Hazards Mitigation Plan for Maunabo supports the representation of traditional sustainability scenarios and sensible of the MSE, in most areas represented as high in risk of wind damage in the EIRN. This difference is related to the inclusion of management and importance of mountain ecosystems in the MSE, which was not considered in the IANH.

Palabras Clave: *adaptación basada en ecosistemas, servicios ecosistémicos, resiliencia, modelo de sostenibilidad ecológica, mitigación de peligros naturales, sistemas de información geográfica.*

1. Introducción

“El calentamiento global domina la mayoría de los titulares hoy día, la degradación de los ecosistemas lo hará el día de mañana” (Corporate Ecosystems Services Review, WRI *et al*, 2008). Pese a este señalamiento, lo cierto es que ya la degradación de los ecosistemas esta ciertamente presente. Así lo determina la primera Evaluación de Ecosistemas del Milenio, informe que tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases científicas de las acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos, así como su contribución al bienestar humano (MA, 2005). Entre las conclusiones generales, este documento ha determinado que “en los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana, en gran parte para resolver las demandas rápidamente crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esto ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad de la vida sobre la Tierra”. A consecuencia de la degradación de los ecosistemas, los servicios prestados por éstos han disminuido substancialmente su capacidad y aportación al bienestar de los humanos (Daily *et al*, 1997). Debido a esas conclusiones, la evaluación y el diagnóstico de los ecosistemas locales/regionales para indagar en sus capacidades de aportación de servicios se ha hecho necesaria (Costanza *et al* 1997, Gómez Sal, 2001). En combinación a la degradación de los ecosistemas debida a la presión de usos generada directamente por los humanos, los cambios climáticos y sus consecuencias sobre los ecosistemas agravan la situación de éstos (MA, 2005). Las propias consecuencias de los cambios climáticos conciben a su vez, modificaciones y cambios en las dinámicas de los ecosistemas, redundando en inminentes efectos sobre la capacidad de producción de los servicios ecosistémicos (Meehl *et al*, 2000; Milly *et al*, 2005). Si a esto se le añaden las prácticas inadecuadas de manejo de los ecosistemas, la rapidez de estos cambios pone nuevamente a prueba su capacidad de resiliencia (capacidad de recuperación natural) (Running & Mills, 2009). Las modificaciones que sufren los

ecosistemas, repercuten en los servicios que prestan y consecuentemente en el bienestar de los humanos. No obstante, habrá que asumir cambios inminentes que la humanidad tendrá que aceptar y adaptarse a ellos (CMNUCC, 2009).

Como respuesta a las gestiones internacionales para atender la problemática de los procesos de adaptación ante las consecuencias del cambio climático a escala local-regional, la UICN ha desarrollado el concepto de Adaptación Basada en los Ecosistemas (EbA). En este, se identifica e implementa una gama de estrategias para el manejo, conservación y restauración de los ecosistemas para asegurar que éstos continúen prestando los servicios que permitan a las sociedades adaptarse a los impactos del cambio climático (CMNUCC, 2007). Como un componente de estrategias de adaptación y desarrollo, la adaptación basada en los ecosistemas tiene como meta aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas ante el cambio climático (Negociaciones de la CMNUCC sobre Cambio Climático, 1 al 12 de junio 2009, Bonn).

Las medidas de adaptación en el sector forestal incluyen esfuerzos, tanto para ayudar a reducir los impactos del cambio climático sobre las personas, como para adaptar las prácticas de manejo de los bosques para reducir su vulnerabilidad a los impactos del cambio climático. En la mayoría de los países en desarrollo, incluyendo muchos en América Latina y el Caribe, las respuestas de las políticas forestales y las actividades en terreno para la adaptación al cambio climático parecen ser aun relativamente limitadas y ad-hoc. A nivel mundial se necesita un enfoque más sistemático de las necesidades y oportunidades para la adaptación en el sector forestal, como parte de políticas generales de bosques y procesos de planificación (esto es, programas forestales nacionales) (CMNUCC, 2007).

Entre los ejemplos de adaptación basada en los ecosistemas están los siguientes:

- Manejo de ecosistemas costeros para reducir inundaciones durante marejadas. Los manglares, ciénagas salinas y otros tipos de vegetación costera proporcionan una infraestructura natural que reduce tierra adentro los

impactos derivados de la energía del oleaje, actúa como una barrera para detritos y reduce la erosión costera.

- Manejo de tierras agrícolas con la utilización de conocimientos locales sobre cultivos específicos y variedades de ganado, aplicación de enfoques de manejo integrado de recursos hídricos, y conservación del mosaico de paisajes agrícolas para asegurar el abastecimiento de alimentos en condiciones climáticas locales cambiantes y erráticas.
- Manejo de tierras altas y cuencas para asegurar que el almacenamiento de agua y los servicios de regulación de inundaciones sean maximizados a través del mantenimiento y mejora de los humedales y de las cuencas de ríos y su vegetación.
- Mantener y mejorar la resistencia de los ecosistemas a escala de paisajes, mediante sistemas eficientes de Áreas Protegidas y mejoras en el manejo sostenible de paisajes terrestres y marinos.

La conclusión de estas acciones de prevención, mitigación y adaptación de estos movimientos persiguen la base fundamental de la sostenibilidad de los recursos presentados como la gestión básica de sobrevivencia (Negociaciones de la CMNUCC sobre Cambio Climático, 1 al 12 de junio 2009, Bonn).

Por otro lado, existen gestiones locales y regionales dirigidas por las entidades gubernamentales que intentan establecer acciones de mitigación de los desastres naturales (que se asocian a los cambios climáticos [IPCC, 2001; McCarthy *et al*, 2001; Milly *et al*, 2001; Emanuel, 2005; Anderson & Baucsh, 2006]). La Ley de Mitigación de Desastres (Disaster Mitigation Act, DMA, 2000) de los Estados Unidos, que aplica en este caso a las regiones estadounidenses como sus territorios, obliga a sus Municipios (entre ellos a los de la isla de Puerto Rico) a llevar a cabo acciones de mitigación de riesgos naturales. Esto, a través de la elaboración de un *Plan de Mitigación de Riesgos Naturales*, basado en un estudio llevado a cabo por la Universidad Metropolitana de Puerto Rico y financiado por FEMA (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias). En este estudio, se evalúan la intensidad y frecuencia de eventos naturales, sin embargo, no se incluye activamente el elemento

ecosistémico (y su capacidad de prestación de servicios) que es afectado por los diferentes eventos. En el Plan generado por los municipios los hace elegibles para recibir ayudas monetarias en caso de algún desastre, pero también les permite acceder a fondos federales para sus respectivas acciones de mitigación. Estas gestiones hacen necesario documentar el papel que los ecosistemas juegan a la hora de mitigar un evento natural. De esta manera, el manejo efectivo y sostenible de los ecosistemas puede ser incluido como una estrategia de mitigación.

Instituir métodos de evaluación de la sostenibilidad no sólo establece indicadores, sino que también impulsa la aplicación de buenas prácticas para el desarrollo sostenible y puede tener un efecto generalizado sobre la toma de decisiones (Meadows, 1998; Bossel, 1999). Por esta razón, este trabajo propone un enfoque metodológico basado en un Modelo de Sostenibilidad Ecológica (MSE) y un Sistema de Información Geográfico que abarca la evaluación de la sostenibilidad en los usos de suelos y la relaciona con la cobertura vegetal. Estos resultados son contrastados con los mapas de vientos fuertes e inundaciones. Se pretende definir un método de representación de los servicios de los ecosistemas (en este caso de mitigación de riesgos) a través del estudio de la sostenibilidad ecológica para ofrecer un marco de referencia a la hora de llevar a cabo gestiones de planificación en el uso de los suelos y los recursos naturales.

1.1 Servicios de los ecosistemas: mitigación de desastres

El propósito principal de este apartado, es establecer un fundamento teórico que clarifique los criterios de selección de los servicios ecosistémicos estudiados. Es necesario definir varios de los términos que diferencian los enfoques (MA, 2005) que pueden utilizarse (entre muchas) en el estudio de los servicios de los ecosistemas. En primer lugar, es preciso admitir la diversidad de interpretaciones referidas a los servicios ecosistémicos. Fisher *et al*, 2007, han analizado algunas definiciones. Mencionan a Daily 1997 refiriéndose a los servicios de los ecosistemas como “condiciones y procesos; y funciones para el soporte de la vida actual”, Costanza *et al* 1997, le llama “bienes y servicios derivados de las funciones y

utilizados por la humanidad” y la Evaluación de ecosistemas del Milenio 2005, dice que los “servicios son beneficios”. Boyd and Banzhaf (2007) ofrecen una definición alterna, dicen que los servicios de los ecosistemas “son aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano”. De modo que los “servicios ecosistémicos” solo son llamados a aquellos componentes del ecosistema que son aprovechados como beneficio a la humanidad. Otras propiedades del ecosistema que no sean utilizadas son denominadas componentes. Por lo cual, los servicios de los ecosistemas incluyen organización o estructura y también procesos y/o funciones siempre que sean utilizados directa o indirectamente por los seres humanos. Por ejemplo, para los residentes de un lugar donde los huracanes representan una amenaza para su bienestar, los ecosistemas que mitigan o amortiguan el impacto prestan servicios de regulación. Diferente sería en una isla despoblada donde los huracanes pasan y no hay un servicio percibido por los humanos.

De este modo, los ecosistemas aportan beneficios al brindar los servicios de protección y/o mitigación ante peligros naturales; el de la protección de la vida, propiedad pública y privada, protección de patrimonio cultural, minimiza la vulnerabilidad a los modos de vida, entre otras (Fisher *et al*, 2007). Según esta premisa, la conexión entre la sostenibilidad del uso de los ecosistemas como condición para que puedan prestar servicios y el análisis de aquellos beneficios para la comunidad en cuanto a la relación con peligros naturales es el tema bajo estudio en este capítulo. La estimación de la integridad de los ecosistemas y la resiliencia para afrontar peligros naturales y recuperar las condiciones que les permitan continuar presentando los servicios de regulación, son considerados en el esquema conceptual de este análisis.

La Evaluación de Ecosistemas de Milenio, EEM (MA, 2005), señala que los ecosistemas prestan servicios de provisión, soporte, regulación y culturales. Uno de los documentos derivados fue *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends* llevada a cabo por la MA, 2005, presenta un análisis sobre la regulación de los peligros naturales a través de los servicios de los ecosistemas, enfatizando los

que tienen que ver con fuegos e inundaciones. Ese documento científico indica que desde 1992 a 2001, las inundaciones han sido la principal causa de desastres (43% de 2,257 desastres) en el mundo, han muerto 96,507 personas y afectado a más de 1.200 millones de personas en esa década. Las interacciones de las actividades humanas con los ecosistemas han contribuido a incrementar la vulnerabilidad para los humanos y el impacto de eventos extremos para el bienestar (MA, 2005; WRI, 2008). Este documento también concluye que el manejo apropiado de los ecosistemas puede ser una herramienta importante para reducir la vulnerabilidad y puede contribuir a la reducción de impactos negativos de eventos extremos sobre el bienestar humano.

1.2 Mitigación de Inundaciones

Sea cual sea el grado de intensificación de los eventos de lluvias y huracanes, los ecosistemas podrán o no cumplir un rol esencial en el proceso de mitigación, dependiendo del nivel de alteración humana que contenga. La resiliencia (respuesta a perturbaciones) del ecosistema dependerá del estado en que se encuentre y la capacidad de suministrar el servicio. Por ejemplo, cuando llueve, los suelos retienen agua y gradualmente la distribuyen a las plantas, acuíferos y arroyos. De modo que el propio suelo puede minimizar el avance del agua sobre el terreno en una inundación (Daily *et al*, 1997). La cobertura vegetal y el detrito minimizan el impacto violento de la lluvia sobre el suelo. Cuando no hay cobertura vegetal, usualmente, la lluvia compacta la superficie y convierte el suelo en lodo, el cual obstruye las cavidades del suelo y reduce la infiltración, aumentando la escorrentía y así la obstrucción en la penetración. Las partículas del suelo son transportadas pendiente abajo por las inundaciones (Hillel, 1991).

La erosión es otra de las consecuencias de la deforestación debido a la desestabilización de los suelos y también interviene en la complicación de las inundaciones. El material es arrastrado por la inundación acumulándose en sistemas acuáticos, naturales y los hechos por los humanos. La erosión incrementa

la frecuencia y severidad de inundaciones, además de minimizar la capacidad de los suelos y su potencial de producción y muchos otros daños que afectan directamente los costes para lidiar con los deterioros. También minimizan el potencial de las plantas hidroeléctricas al rellenar de material los embalses y minimizar su capacidad de almacenamiento de aguas (Pimentel *et al*, 1995). Otras de las ventajas que tiene la cobertura vegetal para mitigar inundaciones es la evapotranspiración. Muchas de las especies vegetales retornan el agua de los suelos a la atmosfera a través de la transpiración de agua y la evaporación de esta, minimizando la saturación de agua en el terreno y participando en el ciclo de agua (Zhou *et al*, 2008).

Los humedales son bien reconocidos por su rol en el control de las inundaciones, éstos pueden reducir la necesidad de tener que construir estructuras para el control de inundaciones (Ming *et al*, 2007). Los bosques, vegetación de planicies de inundación y marismas pueden amortiguar la intensidad energética del flujo de aguas en una riada y permitir que los sedimentos puedan depositarse en las planicies en vez de llegar al océano (Daily *et al*, 2007). Los humedales de montaña pueden absorber más cantidad de agua y mitigar el efecto de inundación repentina durante lluvias prolongadas, retrasando la saturación de los suelos en terrenos altos y amortiguando el flujo máximo sobre los terrenos. Manteniendo la integridad de los humedales y su vegetación, el suelo y el régimen hídrico pueden reducir la severidad y duración de las inundaciones a través de los ríos (Ewel, 1997).

1.3 Mitigación de Vientos Fuertes (tormentas y huracanes)

Kerry Emanuel, meteorólogo profesor de MIT ha publicado un estudio en la Revista *Nature* donde muestra la relación en la fuerza y duración de los huracanes con el incremento en las temperaturas del océano afectadas por el calentamiento global. El cambio climático está provocando una mayor intensidad en los ciclones generados en el océano Atlántico desde 1970, no solo en su frecuencia, sino se ha

doblado el poder de disipación, lo que resulta en un incremento del potencial de destrucción por el fenómeno (Emanuel, 2005).

La cobertura vegetal reduce la probabilidad de derrumbes, erosión de los suelos, inundaciones y avalanchas. Los arrecifes de coral, las barreras insulares y los manglares mitigan el daño de los huracanes, tormentas, marejadas y reducen la intensidad energética del fenómeno. Ha sido comprobado que las prácticas y políticas para promover el manejo adecuado de cuencas hidrográficas, ecosistemas y áreas urbanas reducen y amortiguan los efectos de los desastres naturales (OAS, 2004).

El manglar es uno de los ecosistemas más importantes y más amenazados del mundo y, entre los múltiples beneficios que brindan, sirven como barreras contra inundaciones y huracanes. Ahora se conoce que los bosques de mangle también son defensa contra los tsunamis y pudieron haber salvado la vida a miles de personas en Asia. Desafortunadamente, durante décadas se han pasado por alto los beneficios que brindan estos bosques costeros, al grado que en todo el mundo están desapareciendo casi tres veces más rápido que las selvas (Hannah *et al*, 2007).

1.4 Sostenibilidad de los usos humanos y el papel de los ecosistemas como mitigadores

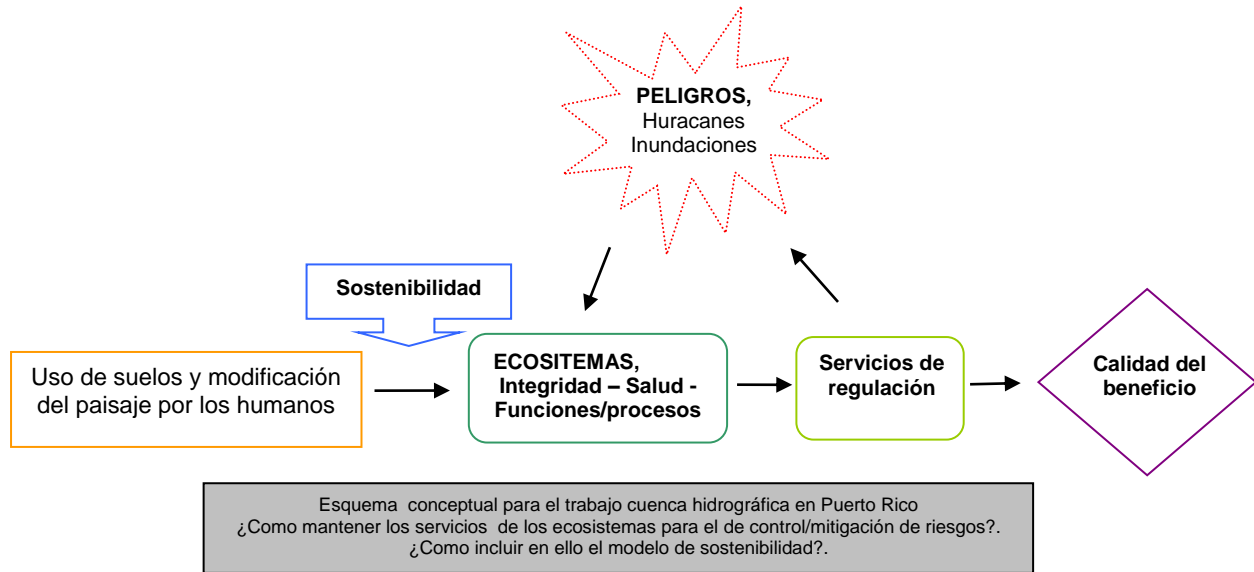
Como se ha mencionado anteriormente, la intensidad del uso de los ecosistemas debe ser evaluada para determinar el impacto sobre la integridad del ecosistema. Esto a través de un estudio de la coherencia del uso de los recursos (cantidad y frecuencia de uso), la planificación de selección de áreas de ocupación y los diferentes usos de los terrenos, entre otras. La integridad del ecosistema, debe ser evaluada a través de la integridad espacial (fragmentación y conectividad) y funcional (procesos y funcionamiento) con elementos de coherencia y capacidad sustentante (Gómez-Sal y Vélez-Restrepo, 2008). Por la naturaleza del análisis, para la evaluación de la sostenibilidad fuerte es necesaria la integración de los componentes sociales, económicos y culturales, aunque en este caso sean servicios de regulación los que estén bajo estudio. El resultado de este análisis debe verse en

conjunto con otras características de los ecosistemas y otros atributos geofísicos (ej. topografía, tipos de suelos, geologías, precipitación), éste debe arrojar un panorama de la integridad y de ciertas funciones y procesos asociados a la estabilidad del ecosistema. Por consiguiente, este análisis, en consideración a otros aspectos de conectividad, madurez, integración espacial, factores bióticos y abióticos particulares del ecosistema, también podrán ofrecer un diagnóstico o una aproximación de la *capacidad de prestación de servicios* relacionados a la mitigación de eventos naturales extremos. En este caso, servicios de regulación. Para este tipo de evaluación es necesario considerar las proyecciones de los efectos ecológicos no-lineales que determinan dinámica de ecosistemas y otros efectos en relación a los bienes y servicios (Breshears y Allen, 2002; MA, 2005; Millar *et al.* 2007).

Una vez considerada esa capacidad de servicio de mitigación y/o protección del ecosistema ante eventos naturales, la respuesta y conclusión final al diagnóstico debe ser evaluada a través de la *tolerancia* de los ecosistemas frente al evento extremo (CCSP, 2009). Por ejemplo, si evaluamos independientemente los riesgos de inundación y huracanes, es posible que aquellos ecosistemas (por ejemplo, un manglar) que “mitigan” una inundación puedan tolerar la misma y beneficiar a los humanos. Sin embargo, si ese mismo ecosistema se asocia al servicio de absorción de energía frente a un huracán de alta categoría, el estrés aplicado al mismo puede minimizar su tolerancia al evento y hasta cruzar los umbrales de resiliencia habiendo un colapso total de los servicios del mismo (Smith *et al* 2006). Es por eso la importancia de la evaluación independiente de los servicios frente a diferentes panoramas, seguido por la integración de las mismas antes de tomar decisiones sobre el manejo del ecosistema (Kareiva *et al*, 2007). La finalidad de este concepto es evaluar la capacidad de respuesta y recuperación de los ecosistemas que ofrecen los servicios de regulación que mitigan o protegen frente a eventos naturales, la capacidad de asimilar estrés de eventos extremos y determinar aproximadamente la calidad del servicio. Todo originado por la coherencia de los usos de los suelos y alteración de los ecosistemas por parte de los humanos.

El esquema conceptual de la evaluación de los servicios de los ecosistemas como reguladores de efectos de inundaciones y huracanes es el siguiente:

Figura 1 Esquema conceptual para el trabajo cuenca hidrográfica en Puerto Rico.



El análisis y gestión de la evaluación lleva inherente la necesidad de establecer las relaciones adecuadas para enlazar los efectos de los eventos naturales con los beneficios prestados por los ecosistemas. Para esto, primero se ha definido el alcance del estudio a través de una relación entre los eventos naturales (inundaciones y huracanes) y los ecosistemas que se asocian a los servicios de mitigación. La siguiente tabla establece esas relaciones y también refiere el beneficio humano extraído de la gestión adecuada del servicio ecosistémico.

Tabla 1 Relaciones entre algunos de los servicios de los ecosistemas que proveen beneficios de regulación para mitigar impactos en riesgos naturales

Evento natural	Ecosistema	Servicio	Beneficio
Inundaciones (EEM, 2005)	Planicies de inundación	Atenuación de inundaciones	Mitigación de la extensión de los daños por procesos naturales de inundaciones.
	Lagos y reservas de aguas	Almacenamiento de aguas y sedimentos	
	Humedales	Amortiguación de inundaciones	
Huracanes (o tormentas tropicales) (UNEP, 2008)	Playas y manglares	Frente de mitigación de vientos y marejadas. Atenuación de intensidad del oleaje	Maximización de la protección de la vida, propiedad privada y patrimonio cultural, entre otras, de las comunidades frente a eventos de vientos fuertes, lluvias y los peligros relacionados. Mitigación de los efectos naturales en los modos de vida de los pescadores, agricultores y otros asociados al uso de los servicios de provisión de los ecosistemas.
	Bosques de laderas y de montañas	Retención de sedimentos, absorción de agua en suelos saturados, estabilidad del terreno	
	Humedales	Amortiguación de inundaciones	
	Bosques costeros	Amortiguación de inundaciones	

A partir de esta relación se inicia el proceso de adquisición de la información necesaria para evaluación de la sostenibilidad ecológica. Los ecosistemas a evaluar en este ejercicio corresponden a la relación anterior, siendo éstos los de especial atención a la hora de observar el resultado del modelo generado del esquema conceptual antes expuesto.

1.5 Objetivos

El objetivo principal de este capítulo es el desarrollo de una metodología práctica para la evaluación y el diagnóstico de la capacidad de los ecosistemas de brindar servicios de mitigación y protección ante eventos naturales de vientos fuertes e inundaciones. Será evaluada la cuenca hidrográfica del Río Maunabo en Puerto Rico, que coincide con el municipio del mismo nombre. Los objetivos principales de este trabajo son los siguientes:

- Evaluar los servicios ecosistémicos como mitigadores de peligros naturales para recomendar áreas de conservación y/o restauración ante peligros de inundación y vientos fuertes.
- Investigar un modelo de sostenibilidad ecológica para evaluar los ecosistemas que proveen servicios de regulación para la protección ante los eventos naturales más comunes en Puerto Rico, inundaciones repentinas (flash floods), tormentas y huracanes (vientos fuertes y lluvias), y mitigación de peligros naturales. Incluir el uso del Sistema de Información Geográfico (SIG) como parte fundamental del modelo para representar en un plano espacial los resultados.
- Evaluar la sostenibilidad de usos del suelo en y la cubierta vegetal ante el resultado de la Evaluación Integrada de Peligros Naturales de la Isla de Puerto Rico para los riesgos de vientos fuertes e inundaciones¹.

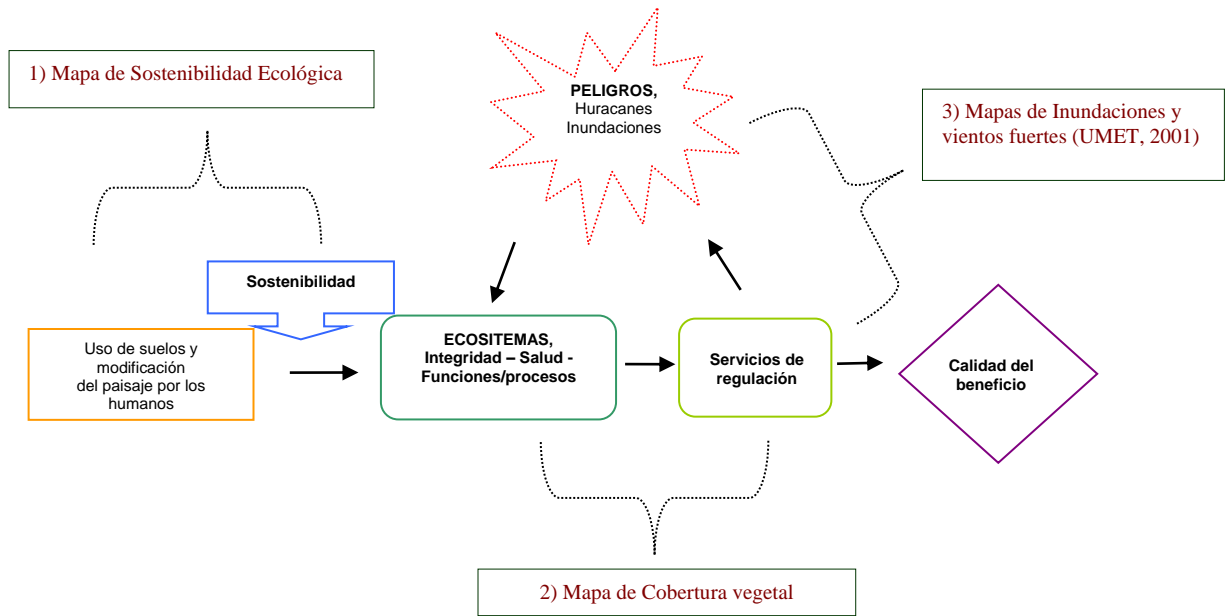
2. Métodos y área de estudio

Este ejercicio consiste de tres procesos principales para llegar a los resultados basados en el uso del Sistema de Información Geográfico (SIG) como herramienta clave. La programación utilizada será ArcGIS 9.3 y todos los módulos y extensiones de los programas que lo componen (ArcCatalog, ArcMap, ArcTool) [ESRI]. Se ha seguido el esquema conceptual discutido anteriormente con las siguientes fases:

¹ Un estudio de riesgos naturales realizado por la Universidad Metropolitana de Puerto Rico y por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA)

- En primer lugar, se llevó a cabo el análisis de la **sostenibilidad ecológica** que arrojará una perspectiva de la situación de los ecosistemas bajo estudio. Para esto se empleará el modelo de evaluación de la sostenibilidad desarrollado por Gómez Sal (2001). Los resultados se llevarán al plano geográfico de la cuenca hidrográfica del Río Maunabo a través del programa de ArcGIS y una Evaluación Multicriterio (EMC) para cada una de las zonas de estudio, creando un Mapa de Sostenibilidad para la cuenca (ver fig. 13).
- Después de situar sobre el territorio una perspectiva de la sostenibilidad de los ecosistemas en las zonas de estudio, se elabora un segundo mapa, el de **cobertura vegetal**. Para ello, se extrae información sobre coberturas de terrenos, desde diferentes fuentes disponibles (Gap Analysis, Gould, 2004; USGS, 2003), que detallan las condiciones que caracterizan los ecosistemas de área. A partir de esta información se estableció una aproximación (con la información disponible) sobre la integridad de los ecosistemas a través de la cubierta vegetal.
- Por último, se llevó a cabo contraste de los **resultados cartográficos con los mapas de riesgos naturales** realizados por la Universidad Metropolitana de Puerto Rico (UMET) y la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, US), específicamente las inundaciones y los vientos fuertes. A partir de ahí, se concluye cómo los servicios de regulación de los ecosistemas (derivados de la información sobre sostenibilidad y la aproximación a la integridad de éstos) tienen la capacidad de beneficiar con servicios de mitigación y/o protección a los residentes y cómo concuerdan o no esas áreas de mayor prestación de servicios de mitigación con las áreas más propensas a estos riesgos, según el análisis de la UMET.

Figura 2 Relación conceptual esquemática con la elaboración metodológica del análisis GIS



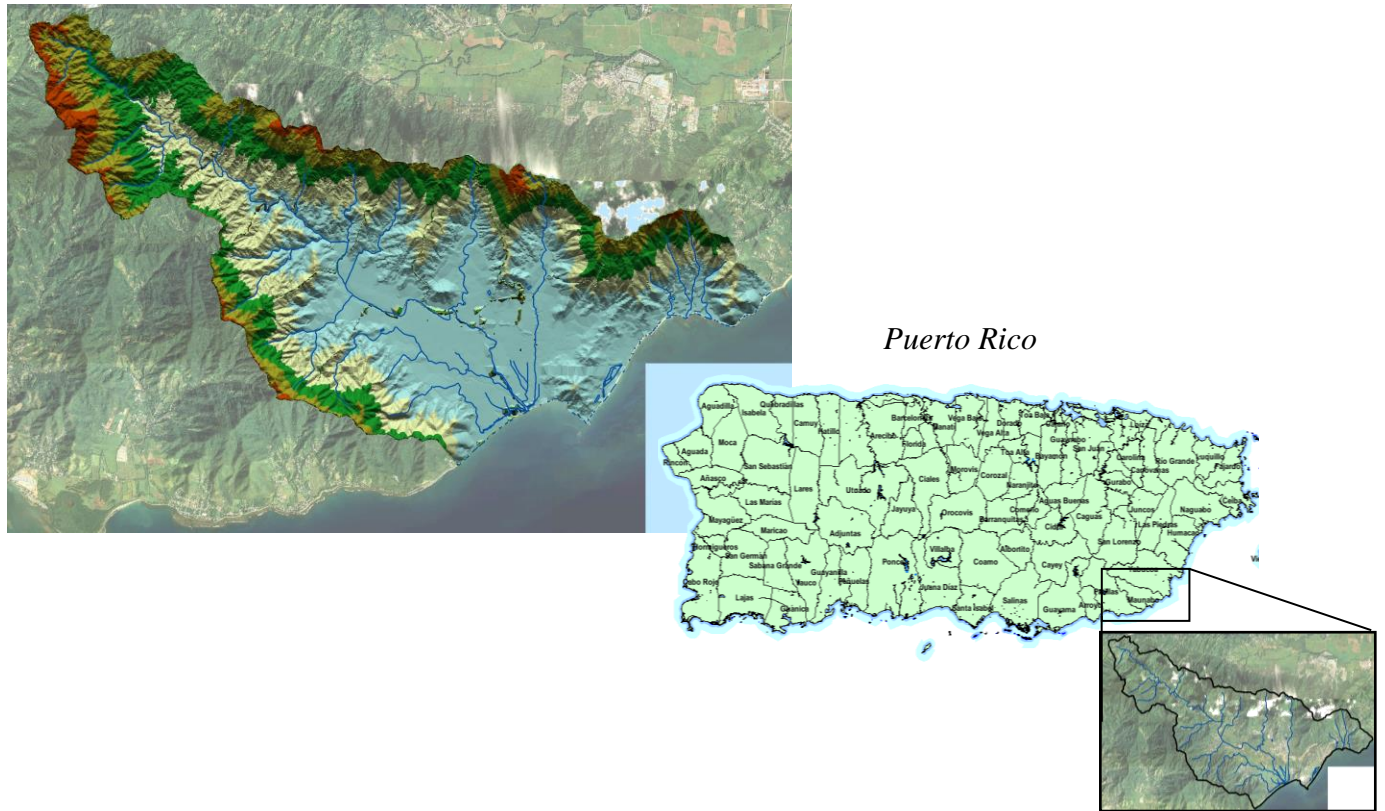
2.1 Área de estudio: Cuenca Hidrográfica del Río Maunabo, Puerto Rico

La cuenca hidrográfica del Río Maunabo fue seleccionada para este ejercicio debido a la adecuación de su escala geográfica a esta evaluación experimental. Además, coincide con los límites del municipio de Maunabo, lo que contribuye a la adquisición de datos y a la accesibilidad de las organizaciones sociales, comunitarias. También esta cuenca se encuentra orientada hacia el sureste de la isla de Puerto Rico, lo que la posiciona en la ruta de entrada de tormentas, huracanes y sistemas de baja presión tropical, haciéndola muy vulnerable a riesgos naturales de inundaciones, deslizamientos, vientos fuertes, marejadas ciclónicas, etc.

La cuenca tiene una superficie de 54 km². En cuanto a la elevación, la cuenca del Río Maunabo tiene cerros que alcanzan 550 msnm. Por el Norte y el Noreste de esta cuenca, corre el cerro de Panduras y El Sombrerito, el resto del territorio de Maunabo es bastante llano. Es por ello que geográficamente se incluye en la región de los llanos costaneros del sur de Puerto Rico. Está regado por el río Maunabo, Lachi y varias quebradas afluentes. El promedio de lluvia para la cuenca es de 203 cm al año, aunque hay años en que solo ha caído 8 cm. La temperatura promedio es

32°C. La población es de 11.988 habitantes en el año 2015, con una densidad poblacional de 225.1 hab/km².

Figura 3 Cuenca hidrográfica del Río Maunabo, Puerto Rico



2.2 Mapa base de cubierta de suelos para las clases seleccionadas en el ejercicio de sostenibilidad²

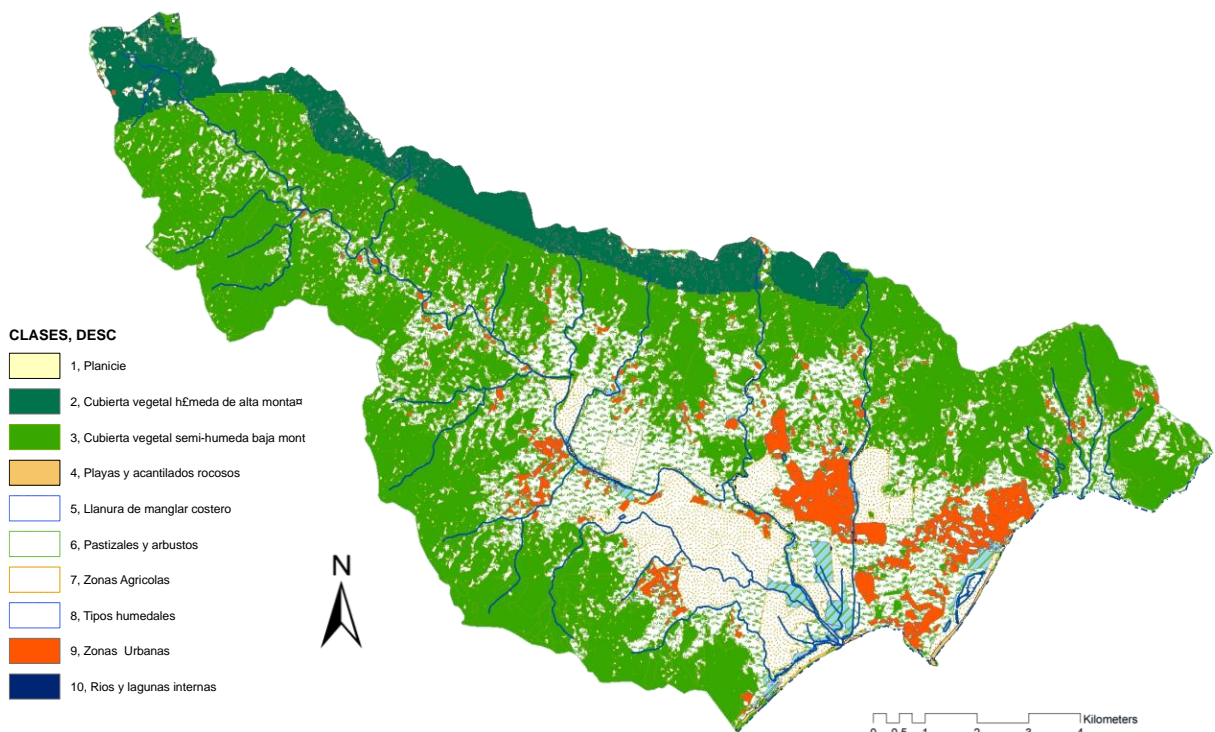
El mapa de cobertura de suelos que se ha utilizado para este ejercicio se fundamenta en el Proyecto Gap de Puerto Rico (Puerto Rico Gap Analysis Project—PRGAP) es una colección integradora de información sobre la cubierta del suelo de Puerto Rico, distribución e historia natural de vertebrados, y áreas de manejo. Está basado en la metodología desarrollada por el programa nacional GAP de los Estados

² Ver anejo A

Unidos para determinar el grado en el cual especies y sus comunidades naturales están representadas en los terrenos que están actualmente protegidos. El mapa de cobertura de terrenos para el área de estudio del Río Maunabo se representa en las próxima Fig.4.

Las clasificaciones para el ejercicio de sostenibilidad se han seleccionado según las categorías de las coberturas de suelos existentes que representan áreas de importancia para la evaluación de impacto de riesgos naturales y la mitigación de estos (Ver Anejo A). La evaluación de estas categorías, según los parámetros de sostenibilidad aplicados, arrojará un panorama territorial de la ocupación con respecto al escenario deseado. Las clases seleccionadas basadas en ecosistemas y zonas de estudios, son las siguientes: Playas y Arrecifes, Zonas de Manglar, Planicies de Inundación, Ríos, Cubierta Vegetal Húmeda de Alta Montaña, Cubierta Vegetal Semi-húmeda de Baja Montaña, Zonas Urbanas, Zonas Agrícolas, Pastizales y Arbustos, y Humedales.

Figura 4 Mapa de Clases de usos del suelo. Cuenca Hidrográfica del Río Maunabo.



2.3 Modelo de Sostenibilidad Ecológica

Hasta el momento, el estudio exhaustivo predominante de los servicios de los ecosistemas se ha hecho desde un plano tangible en su mayoría, o sea, los *servicios de provisión* (MA, 2005) que pueden ser contabilizados desde una perspectiva de capital natural. Daily, 2007 y MA, 2005 sugieren el estudio particular de los ecosistemas a escala local y regional para determinar elementos específicos que pueden ayudar a evaluar los servicios de regulación. Por lo que la definición de la sostenibilidad es necesaria para la esta evaluación ante los objetivos que se persiguen. Los conceptos de sostenibilidad fuerte y débil derivado de una representación comparativa de la economía ambiental y ecológica, son una variable ampliamente estudiada y definida frente a decisiones de manejo de los ecosistemas (Chavarro & Quintero, 2009). Desde ese panorama, la relación beneficio neto del servicio ecosistémico y el beneficiario, puede ser directamente identificada siendo así una estrategia de manejo cuantificable y accesible. La sostenibilidad débil (contable), considera intercambiables los servicios que presta el capital natural y los de la naturaleza transformada, mientras que la sostenibilidad fuerte (ecológica) implica una mayor exigencia de la integridad de la naturaleza y compatible con el beneficio que pueda obtenerse por los servicios (Gómez Sal, 2007). Por la relación cercana, la intención de manejar servicios de los ecosistemas relacionados con los procesos de regulación debe considerar la sostenibilidad fuerte como punto de partida para cualquier evaluación (Smith *et al*, 2006). Sin embargo, se debe tener cuidado a la hora de decidir si se persigue una propuesta de manejo basada en la sostenibilidad fuerte, debido a que la variabilidad de indicadores relacionados deben incluir características funcionales del propio ecosistema (Searle & Cox, 2009).

El acercamiento multicriterio representado en el modelo que utilizamos, permite una estructura de relaciones entre los indicadores a ser analizados (Gómez Sal *et al*, 2003), aunque el debate entre los análisis coste-beneficio y multicriterio mantiene su diferencia en aspectos relacionados al enfoque que se otorga al ecosistema desde un plano básicamente de manejo. La visión multidimensional, permite adecuar la

combinación del análisis coste-beneficio en su justa perspectiva dimensional e integrarla en un análisis multicriterio que abarca una mayor representación de aspectos no cuantificables, pero de alta importancia (Bosque, 1996; Bosque & García, 1999). En la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio se combinan y valoran simultáneamente criterios de distinta naturaleza que son la base para la toma de decisiones. Estos se componen de factores, aspectos que fortalecen o debilitan los criterios, a través del manejo de sus atributos (variables) dentro de unas determinadas reglas de decisión y valoración (Barredo, 1996). Las técnicas de evaluación multicriterio en combinación con los sistemas de información geográficas (SIG), constituyen una herramienta muy útil para su aplicación en los procesos de evaluación territorial (Galacho & Ocaña, 2004).

En este capítulo se lleva a cabo la evaluación de la sostenibilidad de algunos de los servicios ecosistémicos de regulación que protegen y/o mitigan eventos naturales de peligro para la vida y propiedad humanas. Como la finalidad del mismo es evaluar polígonos de uso y señalar áreas de importancia en ecosistemas que ofrecen servicios de mitigación ante eventos naturales, cualquier análisis llevado a cabo debe establecerse en un escenario de sostenibilidad ecológica fuerte. Gómez Sal (2004, 2014) ha diseñado un modelo de evaluación basado en criterios que parten de una aproximación teórica respecto a la sostenibilidad. En este modelo multidimensional se definen unos componentes básicos para la sostenibilidad (economía, ecología, sistema de producción). Los ecosistemas humanizados distintivos dentro de un mosaico de diversidad de usos en un plano ecológico del paisaje, debe asimilar la resiliencia del funcionamiento del territorio desde un sentido integrador que incluye directamente aquellos sistemas socio-económicos basados en conocimientos tradicionales que distinguen la dinámica ecocultural del mismo (Bishop *et al*, 2004). Por lo cual, el modelo añade, en un sentido integrador, componentes adicionales (social y cultural) que resultan en interacción afectando el aspecto de sostenibilidad cuando se analizan todos en conjunto, el modelo está abierto a otros componentes y mantienen relaciones jerárquicas (Gómez Sal, 2007). En este capítulo las dimensiones o perspectivas evaluativas consideradas son

ecológica, económica, social, cultural y el de producción. Esos cinco ejes también incluyen un sexto, *la dimensión ética*, la cual por su naturaleza interviene en todas las dimensiones anteriores y queda inherente dentro del ejercicio como parte del proceso de selección de los elementos, atributos, índices, etc., que conforman la composición de la evaluación final.

Este Modelo de Sostenibilidad Ecológica (MSE) se basa en la evaluación de los ecosistemas para la propuesta de una sostenibilidad fuerte (Gómez Sal, 2001). El procedimiento evaluativo consiste en comparar la realidad con una serie de escenarios de referencia. En este caso los escenarios serían aplicables al estudio de los servicios ecosistémicos de mitigación de inundaciones y vientos fuertes..

El MSE recoge un nivel de detalle multicriterio del complejo y dinámica existentes en un mosaico de ocupación de terrenos en el paisaje o plano geográfico. Los niveles de análisis definen información sobre las variables asociadas a los componentes mayores para cada una de las dimensiones del modelo. Desde la perspectiva exigente que se ha adoptado para el análisis de la sostenibilidad, la que considera importante mantener la integridad de los ecosistemas, la coherencia ecológica como medida de adecuación de los usos y la sostenibilidad ecológica como referencia (en la línea de Daly y Cobb, 1994; Carpintero, 1999, Gómez Sal, 2004), no todas las dimensiones tienen el mismo peso o importancia en el modelo, por lo que su conexión funcional no se produce al azar, sino que con independencia de que a efectos de comparación y claridad expositiva en la valoración se representen en un sistema de ejes equivalentes, las dimensiones mantienen una relación de jerarquía dinámica bastante estricta (Gómez Sal, 2007).

Tabla 2. Dimensiones evaluativas para los diversos sistemas de ocupación de suelos (sistemas de uso de recursos, modelos de desarrollo). Resumen de las principales características, analogías y diferencias. Gómez Sal (2001) y Gómez Sal et al. (2003)

<i>Dimensión evaluativa</i>	<i>Subsistema</i>	<i>Magnitudes</i>	<i>Evaluación</i>	<i>Descriptor del estado del subsistema</i>	<i>Conexión entre subsistemas</i>
Ecología	Ecosistema	Ecológicas – biomasa, energía, biodiversidad, rareza, información, tiempo, espacio, persistencia, etc.	Eficiencia de distinto tipo, ratios entre las cantidades mencionadas	Estabilidad, integridad, resiliencia, capacidad de recuperación. Valor de conservación, patrimonio natural.	Situado en la base, frágil. Actúa a escala temporal, larga Escasamente dinámico (en comparación con los subsistemas 2 y 3)
Productiva	Sistema de producción (agrícola, urbana, residencial, industrial, etc.)	Físicas, tecnológicas, urbanas, industriales – energía, materiales, trabajo, ocupación física del terreno	Rendimiento, ratio entre insumos, productos, adecuación	Sostenibilidad, coherencia ecológica, mantenimiento de los recursos	Posición intermedia. Uso sensato, crea y mantiene los recursos. Dinamismo medio
Económica	Sistema económico convencional	Monetarias - dinero	Rentabilidad, ratio entre inversiones y beneficios (ganancias)	Vitalidad económica	Dominante, muy dinámico, alta capacidad de control y desestabilización
Cultural	Sistema cultural	Patrimonio – arquitectura, arqueología, artesanías y manufacturas, infraestructuras, conocimientos sobre los recursos, paisaje, cultural, etc.	Originalidad, rareza	Valor patrimonial	Basco, frágil. Resultado de la interacción entre los subsistemas 1 y 2, afectados por 3 y 5
Social	Sistema social	Desarrollo humano – integración social, salud, educación, formación, cultura, etc.	Índices de desarrollo humano y social	Equidad, distribución del bienestar y la riqueza	Posición intermedia entre los subsistemas 2 y 3. Afectados por la degradación de 1 y 4 y las disfunciones del 3

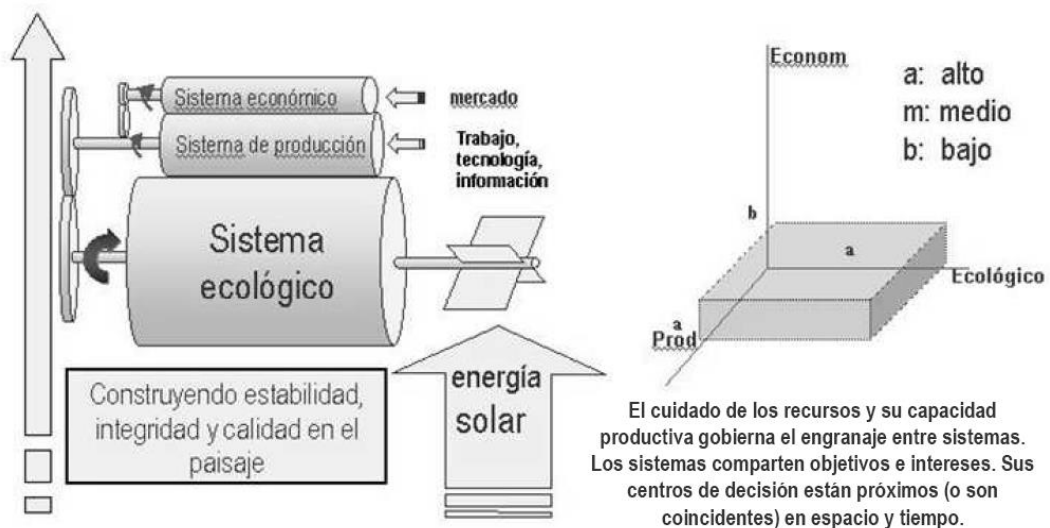
Escenarios de referencia para la sostenibilidad ecológica del paisaje

Los escenarios del modelo establecen unas relaciones jerárquicas dentro de las principales dimensiones del desarrollo (económico, de producción ecológico,). De modo que la dinámica existente dentro de los modos de producción de bienes y/o

servicios para beneficio humano, será considerada como factor principal dentro de los alcances de la sostenibilidad. Sin embargo, los sistemas socio-económicos (ecoculturales) que complementan las dinámicas territoriales de los ecosistemas humanizados dentro de una región, deben ser añadidos y evaluados de igual forma. Las figuras 6 – 9, muestran algunos de los escenarios propuestos por Gómez Sal (2001) para el Modelo de Sostenibilidad basado en los ejes principales para la evaluación del desarrollo. Se observan panoramas de desarrollos tradicionales sostenibles de los cuales se derivan los industriales insostenibles y/o aquellos que representan un panorama sensato de sostenibilidad, el cual sería el escenario deseable para cada uno de los ecosistemas bajo evaluación. El tamaño de las ruedas de engranajereflja la importancia relativa de cada dimensión o sistema evaluativo; la distancia entre ellos indica la calidad o adecuación de relación entre ellos. En el caso de los dos más básicos refleja la coherencia del sistema de producción. La flecha larga, a la izquierda, representa la dirección resultante y marca la pauta de la dinámica del paisaje. Las flechas pequeñas indican el dinamismo relativo de cada sistema (Gómez Sal, 2008).

Figura 5 Escenarios de desarrollo procedentes del modelo: Tradicional sostenible

Relaciones jerárquicas entre los sistemas valorativos. Dimensiones del desarrollo



Gómez Sal et al. 2003

Figura 6 Escenarios de desarrollo procedente del modelo: Industrial Insostenible.

Relaciones jerárquicas entre dimensiones valorativas

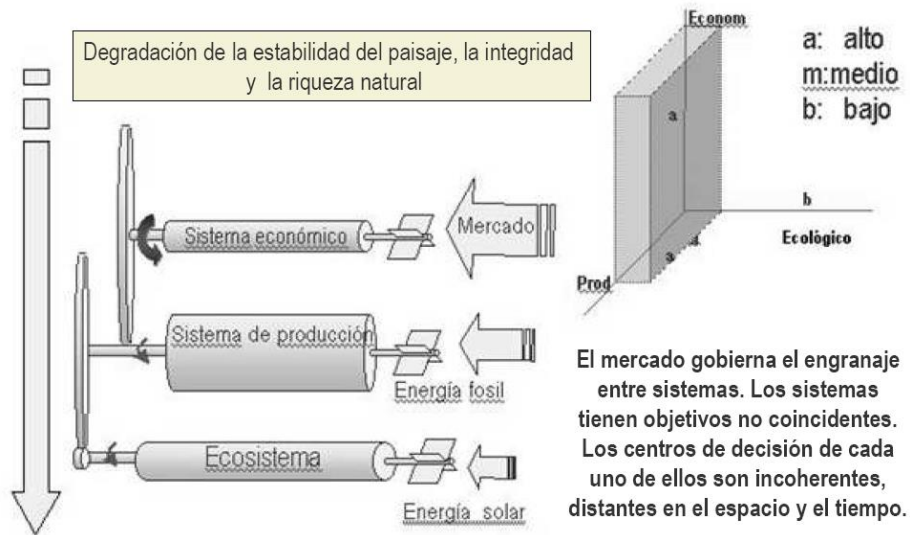


Figura 7 Escenarios de desarrollo

A favor de la conservación de la naturaleza y los servicios ambientales

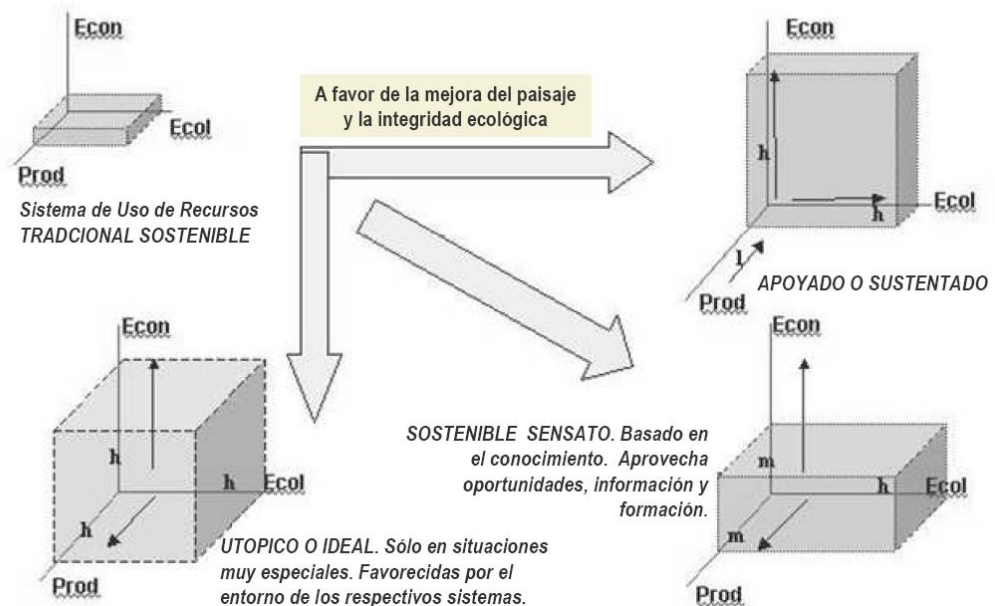
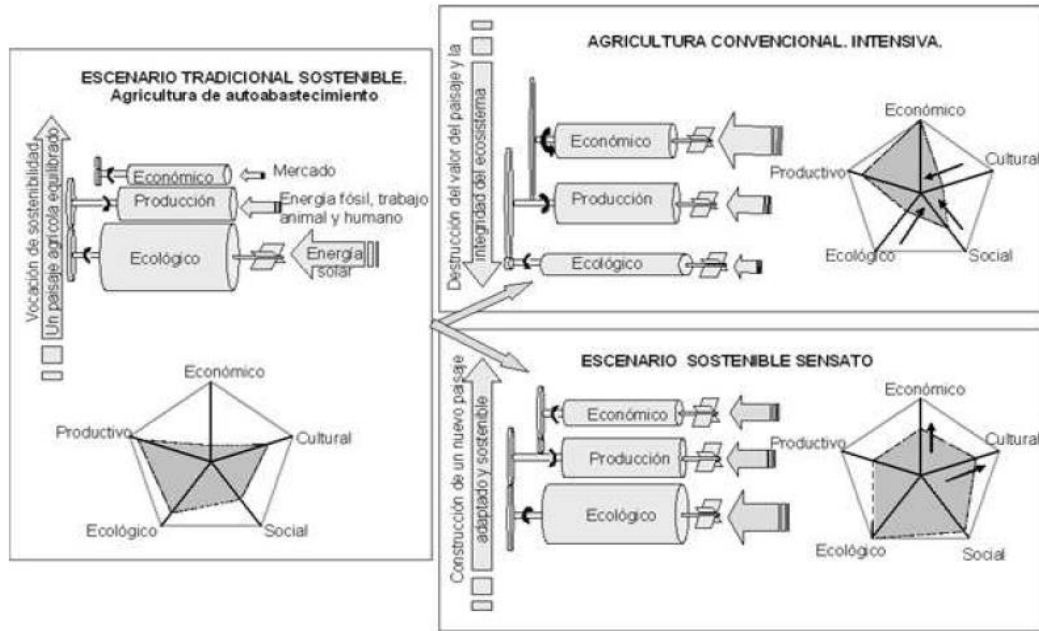


Figura 8 Ejemplos de escenarios de sostenibilidad para ecosistemas agrarios.



Escenarios de referencia para estimar la sostenibilidad y la multifuncionalidad de los paisajes agrarios. La relación entre las tres dimensiones evaluativas axiales, conectadas linealmente, está representada por un engranaje. El peso y calidad de las dimensiones cultural y social se deriva de la interacción entre las anteriores. Los polígonos expresan la descripción multidimensional teórica (cinco dimensiones) de los escenarios (Gómez Sal, 2008).

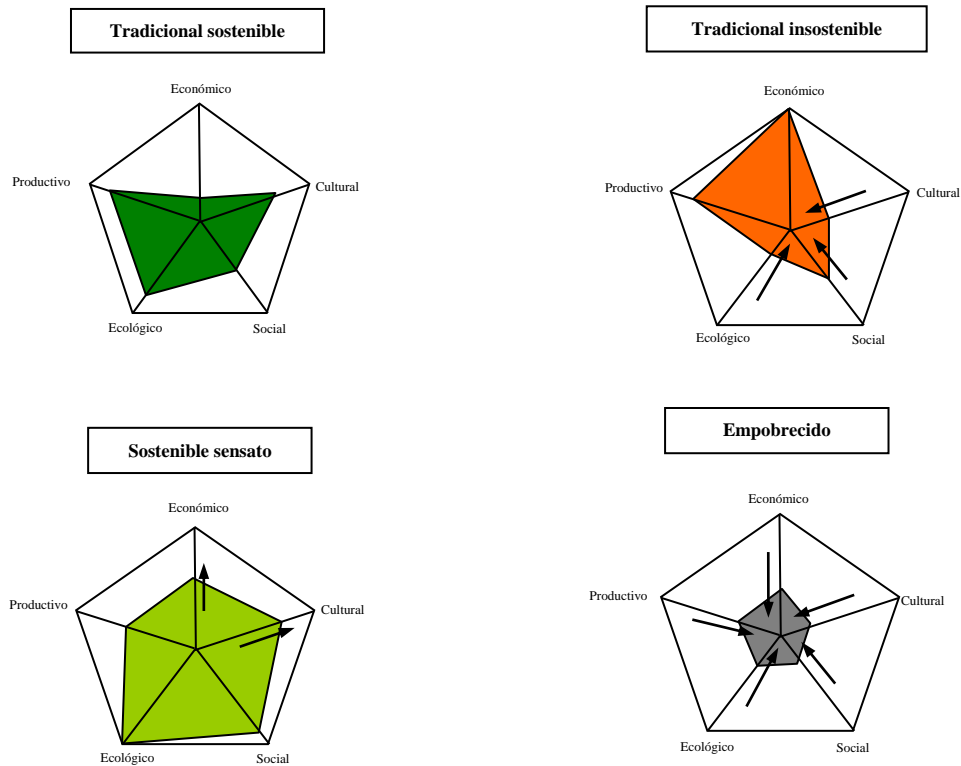
Una vez se evalúa el modelo multidimensional en el territorio bajo estudio y se determinan los conflictos de intereses entre las dimensiones, se procede a la confrontación de esos resultados con los escenarios relevantes al MSE (Gómez Sal *et al*, 2003). Los escenarios que serán considerados para efectos de este trabajo son los siguientes:

Figura 9 Escenarios para el manejo de recursos considerados para las cinco dimensiones evaluativas

**Escenarios del modelo
(Gómez Sal, 2001)**

Resumen de la descripción

Tradicional sostenible	Donde obteniendo una variedad de productos es compatible con un alto valor natural.
Tradicional insostenible	Producción forzada a través de la degradación de los ecosistemas.
Empobrecido	La producción cae en la degradación de los ecosistemas, poca posibilidad de la sostenibilidad viable y actividades gananciales.
Sostenible sensato	Uso sensible o racional el cual preserva los procesos de los ecosistemas e incrementa la capacidad sustentante y el capital natural. El valor económico incrementa a través del incremento de la calidad en sus productos: paisajes, agricultura ecológica, etc.



La evaluación de la sostenibilidad fuerte en su relación con los servicios de regulación requiere trasladar al territorio las características de los ecosistemas y su manejo. Para la evaluación de los servicios de regulación de inundaciones, mitigación de vientos fuertes y marejadas, debe existir unas características mínimas que coexistan para ofrecer el servicio (Fischer *et al*, 2007; Boyd and Banzhaf, 2007; MA, 2005). Es por eso que muchos de los indicadores seleccionados en este estudio señalan características y relaciones entre ecosistemas como condiciones mínimas para la evaluación del servicio. Sobre esa interpretación debe descansar el contexto de resiliencia que permite aumentar las posibilidades de asegurar el servicio ecosistémico tras un evento de estrés. La combinación de componentes y condiciones para el suministro de los servicios serán evaluados según presencia/ausencia.

Dimensión ecológica

El hecho de que para definir la integridad se plantee como un asunto central la consideración o no de la influencia humana, se debe al carácter incluyente de esta cualidad, destinada a entidades (sistemas) mayores como ecosistema o paisaje, y no a determinados componentes parciales de los mismos como es el caso de conceptos como biodiversidad, productividad primaria, que se aplican respectivamente a las especies, la vegetación, etc. Así considerada, la integridad tiene por objeto proveer criterios para evaluar los ecosistemas, considerados como entidades con un cierto grado de autonomía y capacidad de regulación. De esta forma la integridad puede servir como fundamento para orientar con base científica las acciones de conservación de la naturaleza y de planificación de los usos del suelo (Vélez Restrepo & Gómez Sal, 2008). Los componentes de la dimensión ecológica aluden a ese sentido integrador de los ecosistemas a través del estudio del valor de conservación y la capacidad sustentante de éstos.

³ Ver Anejo B

Dimensión de producción

En esta dimensión se apreciarán los usos del suelo en áreas de aporte de servicios de los ecosistemas y el grado de interferencia con la función de los mismos. El uso de los recursos, la tecnología aplicada, los conocimientos de eficiencia productiva, industrias, prestación de bienes, grado de ajuste de los usos y alteración a los ecosistemas serán visualizados desde esta dimensión y evaluadas en conjunto con las otras.

Dimensión cultural

Aquí se miden los esfuerzos comunitarios de reconocimiento de patrimonio natural y cultural que se desean proteger ante peligros naturales. Para evaluar la dimensión cultural es necesaria una propia evaluación del interés local sobre sus recursos. O sea, no solo la presencia de elementos construidos únicos, yacimientos arqueológicos de culturas antiguas, la percepción de los espacios naturales locales, sino cuan importante pueden ser y cuanto amerita la voluntad o esfuerzo común de protección del mismo ante cualquier evento extremo. La capacidad y conocimiento cultural para tomar decisiones y manejar los recursos existentes, serán componentes aplicables en esta dimensión.

Dimensión social

La dimensión social del modelo de sostenibilidad ecológica, enfoca la intervención comunitaria de interés social en cuanto al uso estratégico del territorio. Las tendencias sociales que definen un estatus y un mantenimiento de los recursos básicos que aseguran el bienestar de la población y la calidad de vida. La integración socio-cultural para el apoyo de prácticas para el beneficio y desarrollo humano, es valorada en esta dimensión.

Dimensión económica

Esta dimensión pretende medir la representabilidad económica de los servicios de los ecosistemas para asegurar un medio de vida. Incluye sistemas monetarios y

financieros. La rentabilidad y especialización de la producción, las dinámicas de uso, disposición, estilos de producción, intensidad de uso de recursos son algunos de los enfoques que incluye esta dimensión, la cual interactúa con las demás.

2.4 Elaboración del Mapa de Sostenibilidad Ecológica

Para la creación del mapa de sostenibilidad ecológica se hizo uso de dos métodos de Evaluación Multicriterio (EMC), ambas de técnicas compensatorias. El primero de los métodos utilizados fue la sumatoria lineal ponderada es un proceso donde el tomador de decisiones asigna pesos de importancia a cada una de las variables en relación al marco teórico que sustenta (Barredo & Bosque, 1999). Esta evaluación se incluye pesos a cada variable por cada dimensión combinándolos mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG). El segundo de los métodos fue un AHP, un análisis de comparación por pares (Saaty, 1980) utilizado en este caso para modelar el mejor resultado de la combinación multidimensional dentro del SIG. En primer lugar se creó un mapa temático de clases representativo de 10 diferentes ecosistemas o tipos de usos del suelo. Todo el ejercicio se llevó a cabo en el programa de ArcGIS de ESRI y sus módulos. Así se creó una metodología para el **mapa final de sostenibilidad ecológica:**

Combinación de la EMC de la sumatoria lineal ponderada y el SIG:

- 1) Se llevó a cabo una tabla de análisis en MS Excel para cada una de las cinco dimensiones⁴. La tabla contiene la dimensión, los componentes de la dimensión y las variables para cada uno de los componentes. Se recopiló la información correspondiente a través de trabajos de campo, revisión del Plan de Ordenación Territorial Municipal, Plan de Riesgos Naturales Municipal, visitas a los lugares donde ubican los ecosistemas y/o zonas de estudio y entrevistas informales a los residentes y organizaciones comunitarias. Se usaron valores de 0 al 5 para representar el nivel de presencia de la variable y se ingresaron los valores correspondientes a la tabla para cada uno de los

⁴ Ver anejo B

ecosistemas o zonas de estudio. Al final se normalizaron los datos para cada variable a través de la división del valor por el resultado de la suma de todas las variables. De modo que se llevó a cabo una EMC a través de una sumatoria lineal ponderada cuya ecuación es:

$$r_i = \sum_{j=1}^n W_j V_{ij}$$

Donde:

r_i = es el resultado de adecuación de la dimensión i .

W_j = es el peso de la variable j .

V_{ij} = es el valor ponderado de la zona de estudio o ecosistema i en la variable j .

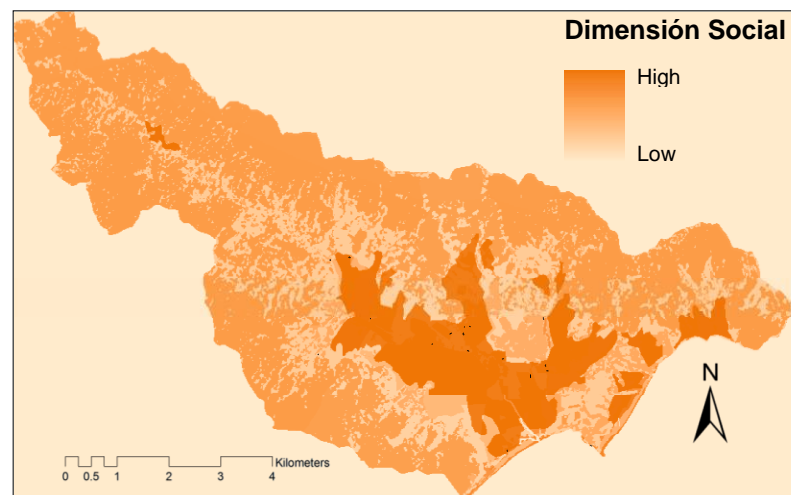
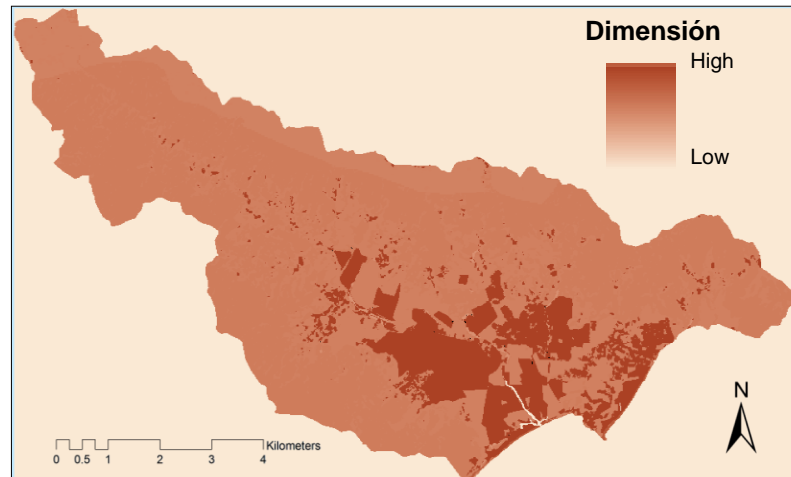
n = es el numero de variables involucradas en el análisis.

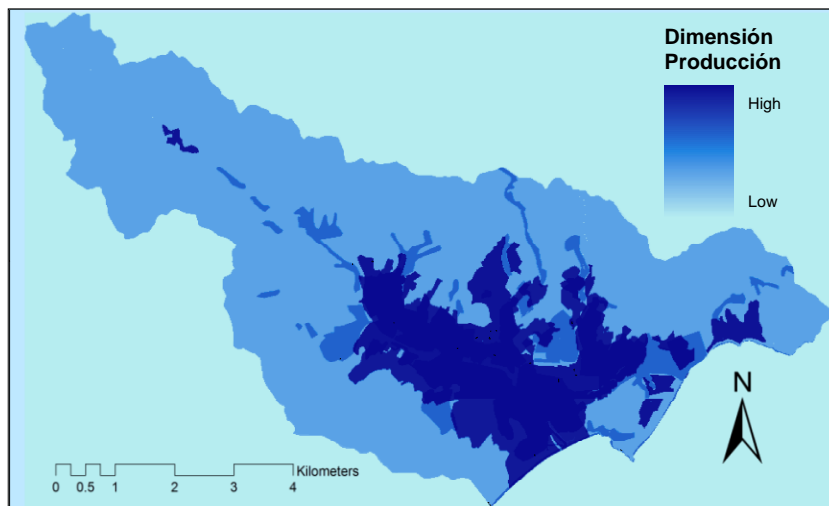
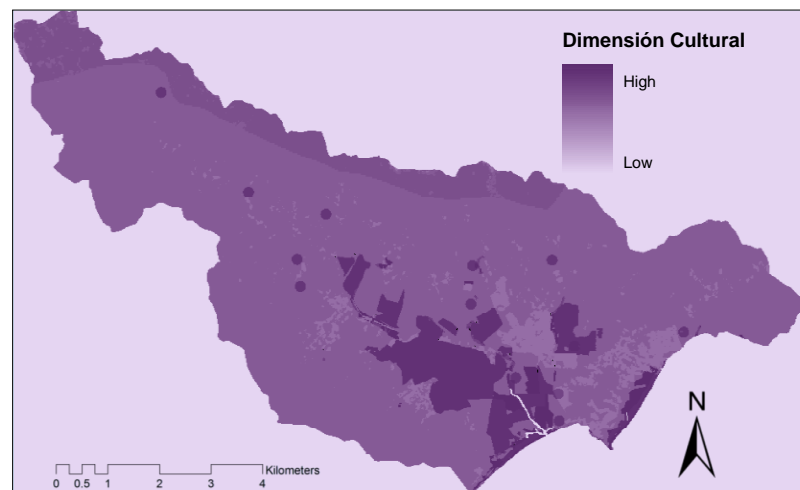
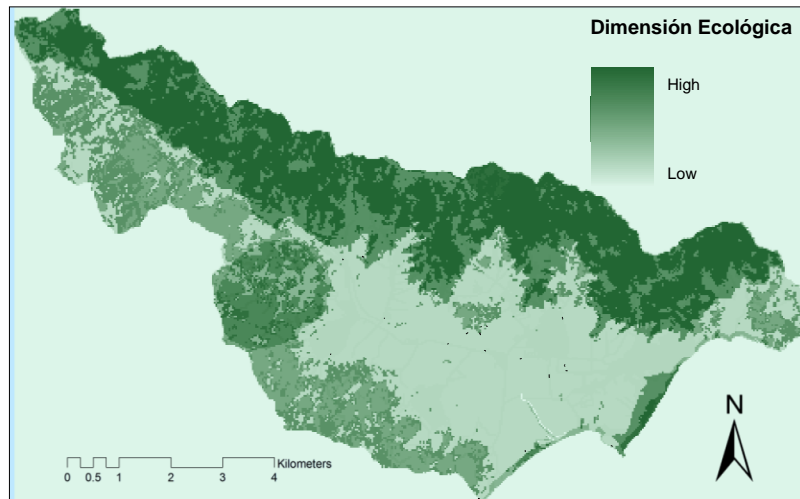
- 2) Se convirtieron cada una de las variables a niveles de información geográfica en un SIG (polígonos existentes de bases de datos municipales, estatales o federales en muchos casos y en otros, contruidos para este ejercicio) y se les ingreso a cada uno su valor normalizado (V_{ij}).
- 3) Todos los polígonos representativos de las variables y con sus respectivos valores se convirtieron a formato "raster" en el SIG, con pixeles de 15m². Esa fue la unidad mínima de análisis en el plano geográfico de la cuenca bajo estudio.
- 4) El número correspondiente al peso (W_j) para cada variable (ya convertida en nivel de información geográfica), se añadió antes de sumarlas en la aplicación de análisis espacial del SIG a través de un "weighted sum" (ArcGIS). El ejercicio se repitió independientemente para cada una de las dimensiones y se obtuvieron los cinco mapas finales. (Ver Fig. 10). A través de este proceso se pueden sumar todos los mapas dimensionales en un procesamiento

similar en el “weighted sum” (sin añadir ponderaciones) para tener una evaluación final que puede ser útil para otros propósitos (Ver Fig. 11). Sin embargo no es necesario particularmente para este ejercicio.

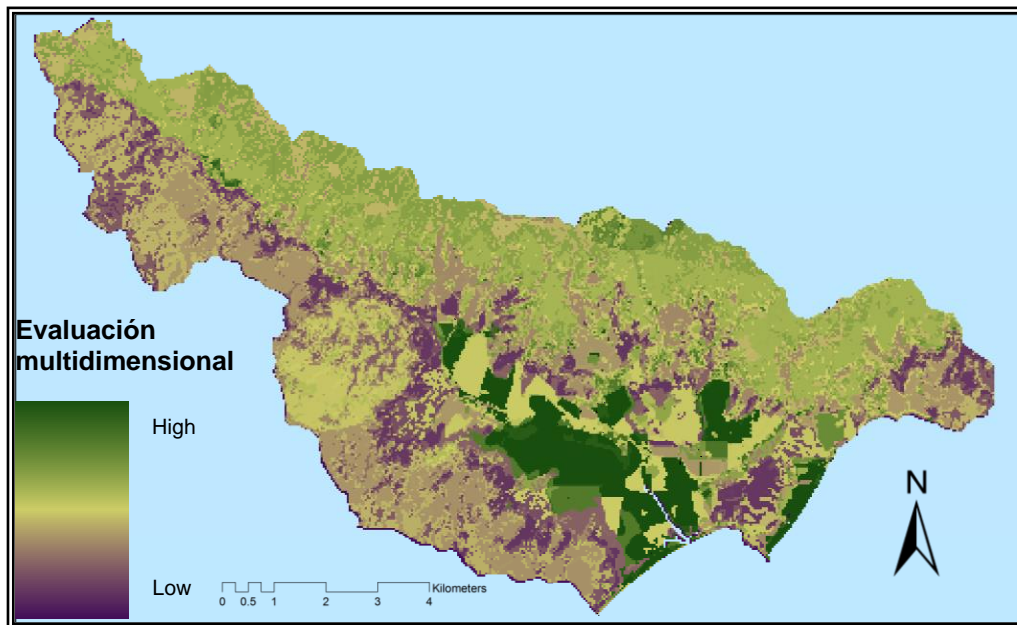
- 5) Cada uno de los mapas dimensionales se reclasifican a través de la aplicación de análisis espacial del SIG, para que obtengan intervalos con valores de 1 a 5. Finalmente se obtienen cinco mapas que corresponden a cada una de las dimensiones del modelo de sostenibilidad ecológica con clasificaciones similares.

Figura 10 Mapas dimensionales para la cuenca hidrográfica del Río Maunabo (Mapa de criterio normalizado y ponderado)





*Figura 11 Evaluación Multidimensional para la cuenca hidrográfica del Río Maunabo
(Mapa ordenado)*



Creación de escenarios y mapa de sostenibilidad ecológica con un EMC de AHP en SIG:

- 1) Se utilizó el módulo de Analysis Hierarquical Process (AHP) (Saaty, 1980) en la programación de ArcGIS, esta técnica de compensación por pares ha sido útil para operar con el modelo de sostenibilidad ecológica, la aplicación permite generar un mapa con los resultados del análisis estadístico. Cada una de las dimensiones fue comparada con las otras y se les dio un peso según el escenario al que se refiere. Se repitió cuatro veces el mismo proceso con sus respectivos valores preferenciales para obtener cuatro resultados. De esta manera se logró llevar a cabo los cuatro escenarios de manera cartográfica (Fig. 12).

- 2) Luego de creados los cuatro escenarios con los valores reales y de manera cartográfica, se elaboró el mapa final que combina los escenarios a través de otra de las aplicaciones del análisis espacial de ArcGIS, “weighted overlay”. Se ingresaron los cuatro mapas alusivos a los escenarios y se calcularon con un nivel de influencia similar uno sobre el otro para conservar los valores del análisis previo.

- 3) Luego de la combinación de los mapas alusivos a los escenarios de referencia del MSE, finalmente fue generado el Mapa de Sostenibilidad Ecológica con los cuatro escenarios representados cartográficamente, según el análisis previo de cada una de las dimensiones (Fig. 13).

Figura 12 Modelos de los escenarios independientes

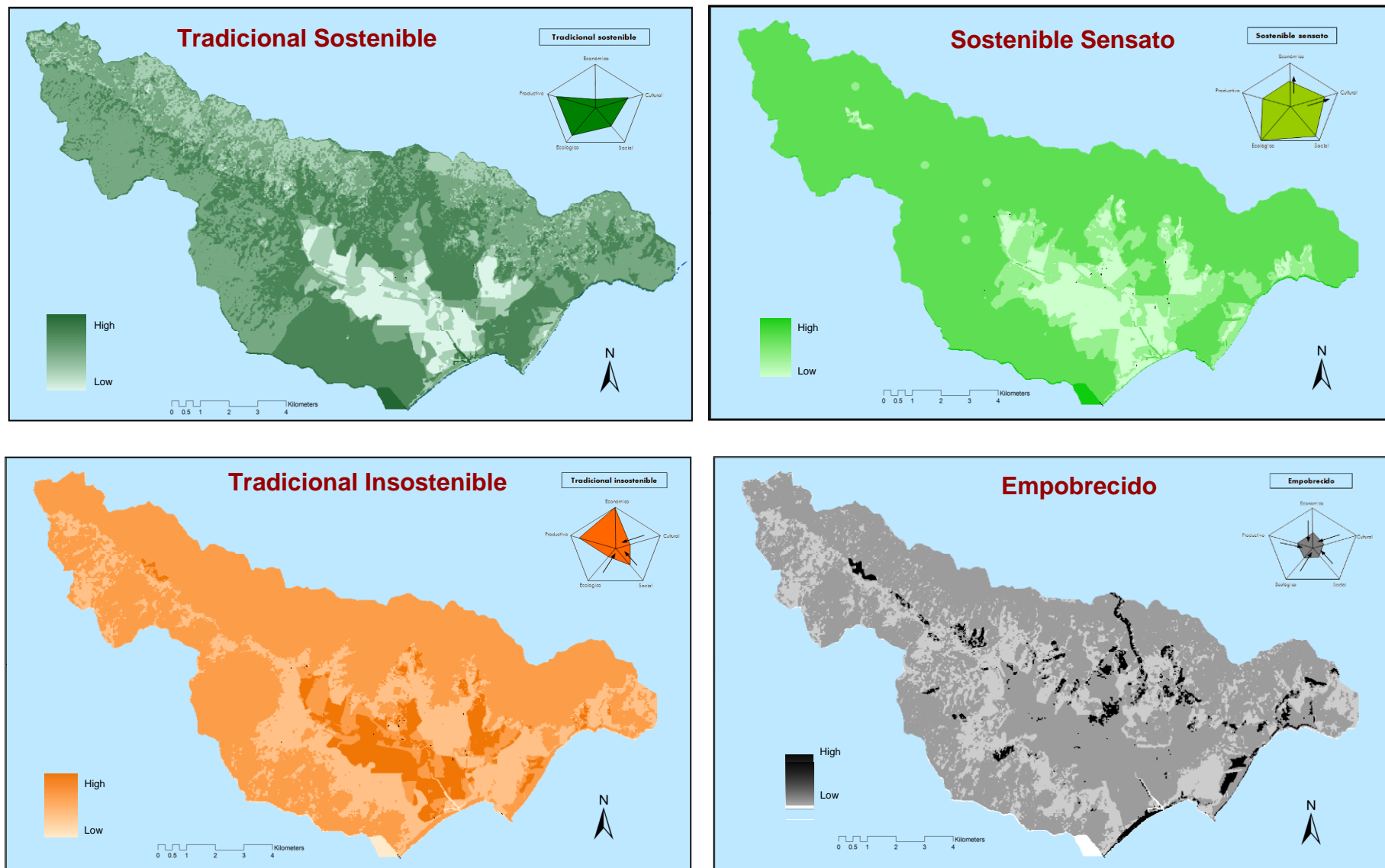
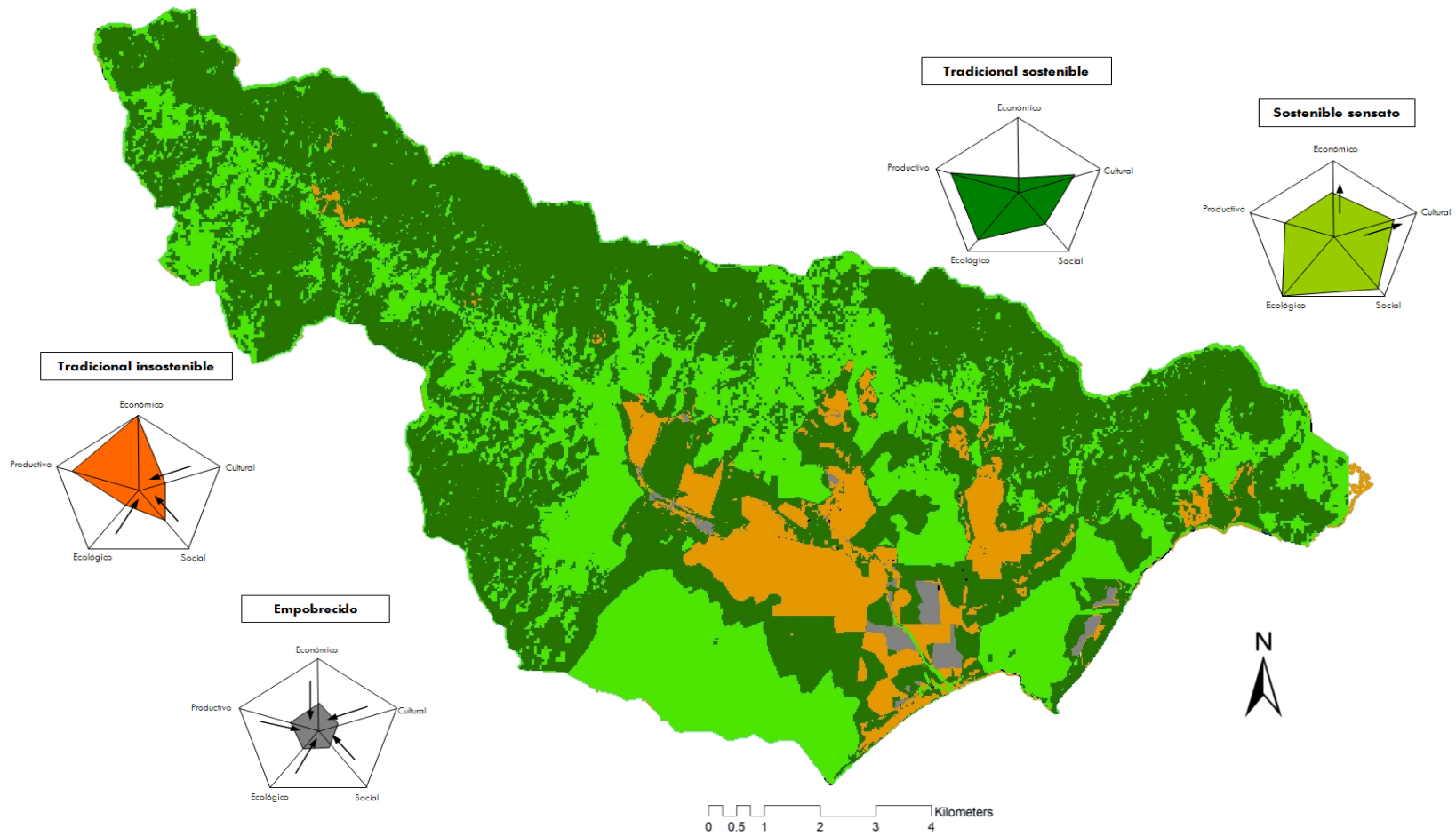


Figura 13 Escenarios de Sostenibilidad Ecológica aplicados a la cuenca hidrográfica del Río Maunabo



2.5 Integridad Ecológica (aproximación a través del uso de la Cobertura Vegetal)

La integridad ecológica tiene componentes de alcance funcional y conlleva un análisis amplio de conectividad, capacidad sustentante, valor de conservación, grado de madurez, entre otras (Vélez & Gómez Sal, 2008). El ejercicio de la configuración de un mapa de integridad, conlleva un análisis exhaustivo del lugar con información específica con la que no se cuenta en este momento para este ejercicio. Por lo cual, se ha decidido usar una aproximación de un Mapa de Cobertura Vegetal. Éste, se fundamenta en la base de datos de cobertura de suelos nacional 2001 sobre la cubierta arbórea para Puerto Rico, el cual ha sido producido a través de un proyecto cooperativo conducido por el Consorcio “Multi-Resolution Land Characteristics (MRLC)”. El Consorcio MRLC es una cooperación entre agencias estadounidenses federales (www.mrlc.gov). Una de las metas primarias de ese proyecto es generar una Base de Datos de Cubierta Nacional de Suelos (NLCD, 2001) para los Estados Unidos y este caso también para Puerto Rico, como estado asociado, a una resolución de espacial mediana.

Para hacer el Mapa de Cobertura Vegetal, se hizo una extracción de la cubierta vegetal representada en el área según la información obtenida y se clasificaron cinco categorías, según el nivel de cubierta, en el programa de ArcGIS. Las categorías son Muy Baja, Baja, Mediana, Alta y Muy Alta (Fig. 14). La integración de esta información se ha relacionado con el resultado del ejercicio de sostenibilidad ecológica para la cuenca hidrográfica del Río Maunabo con la intención de observar alguna relación entre sostenibilidad, cubierta vegetal y los próximos mapas de potencial a impacto de vientos fuertes o inundaciones, según los mapas elaborados por la UMET (Fig. 15) .

Figura 14 Mapa de Cubierta Vegetal para la Cuenca Hidrográfica del Río Maunabo

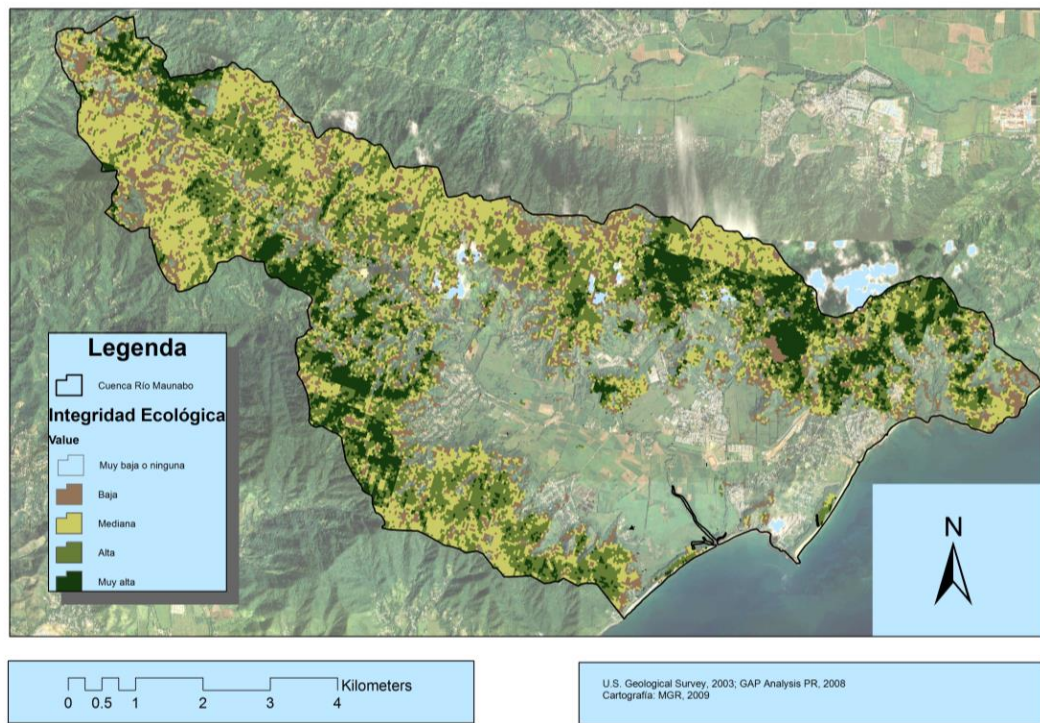
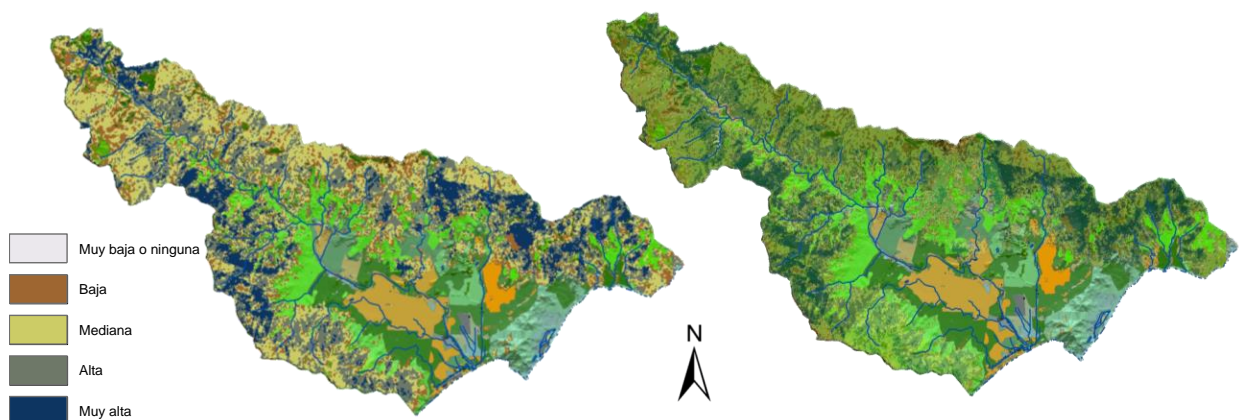


Figura 15 Integración del Mapa de Cubierta Vegetal con Mapa de Sostenibilidad (combinado e independiente)



2.6 Vientos fuertes e inundaciones, integración con el análisis de sostenibilidad y cobertura vegetal

Los mapas de Vientos Fuertes e inundaciones son parte de la Evaluación Integrada de Riesgos Naturales (EIRN) la cual fue llevada a cabo por la Universidad Metropolitana de Puerto Rico (UMET) en el año 2001. La Ley de Mitigación de Desastres (Disaster Mitigation Act, DMA) de los Estados Unidos obliga a todos los Municipios de Norte America y sus regiones (como Puerto Rico) a llevar a cabo un Plan de Mitigación de Desastres para ser elegibles a los fondos federales luego de evento natural que afecte el área. Los mapas de vientos fuertes son producto del análisis expuesto en ese documento para beneficio de los municipios que tuvieron que elaborar su documento (Fig. 16). El mapa de inundaciones para la cuenca del Río Maunabo, fue extraído de la base de datos de los FIRM's (Floods Insurance Rate Maps) de FEMA, igualmente utilizado por la EIRN (Fig. 17).

Figura 16 Mapa de Vientos Fuertes según la EIRN

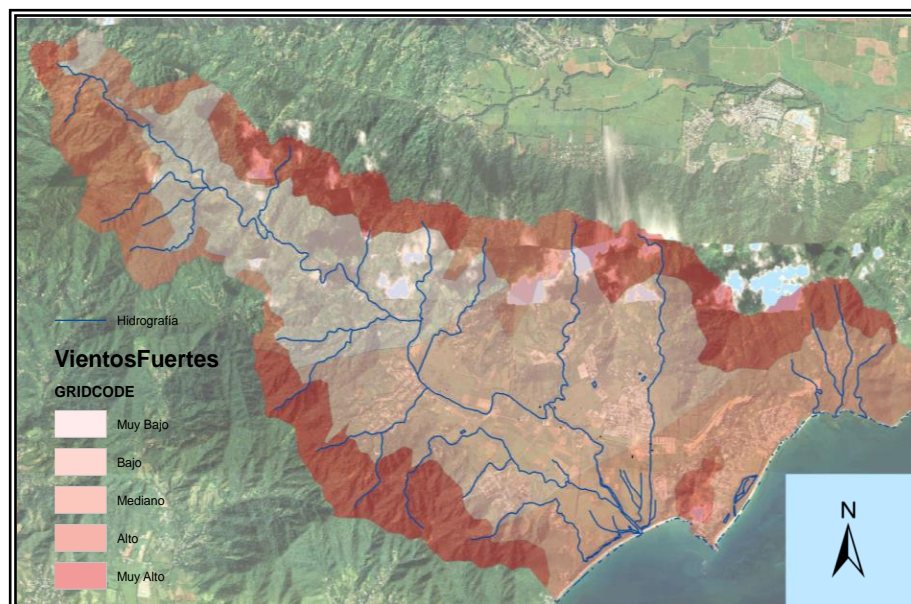
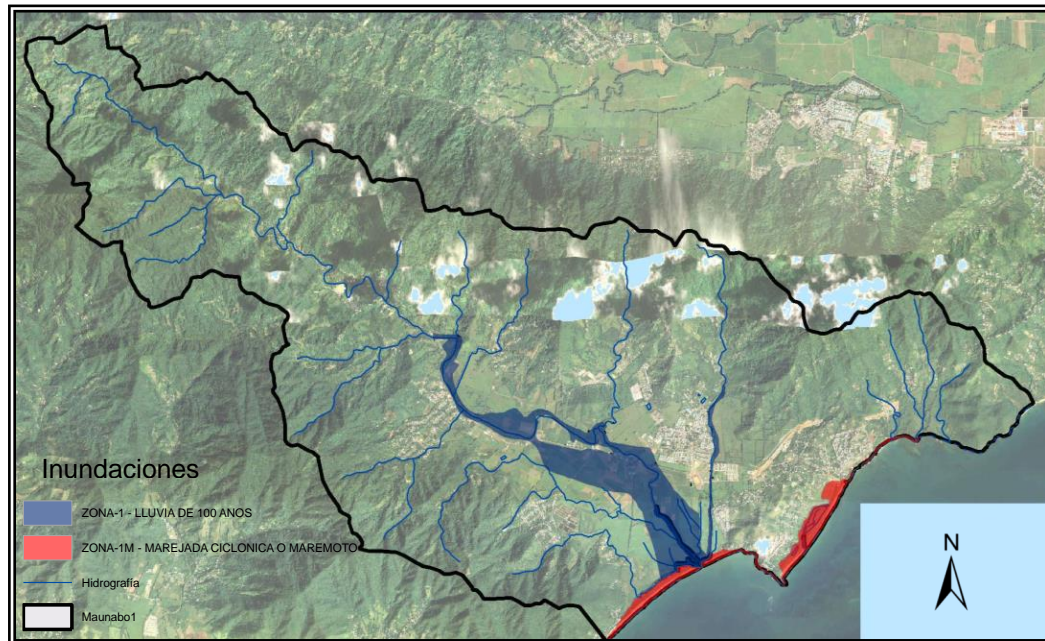


Figura 17 Mapa de Inundaciones según la EIRN



La integración de los Mapas de Sostenibilidad y Vientos Fuertes fue a través de una representación gráfica de la superposición de ese nivel de información geográfica al MSE (Fig. 18). Una visualización similar de las inundaciones fue superpuesta (Fig. 19). A ambos mapas se les dio 60% de nivel de transparencia para que se pudiera observar la relación geográfica de la información.

Figura 18 Combinación de Sostenibilidad - Cubierta Vegetal - Vientos Fuertes

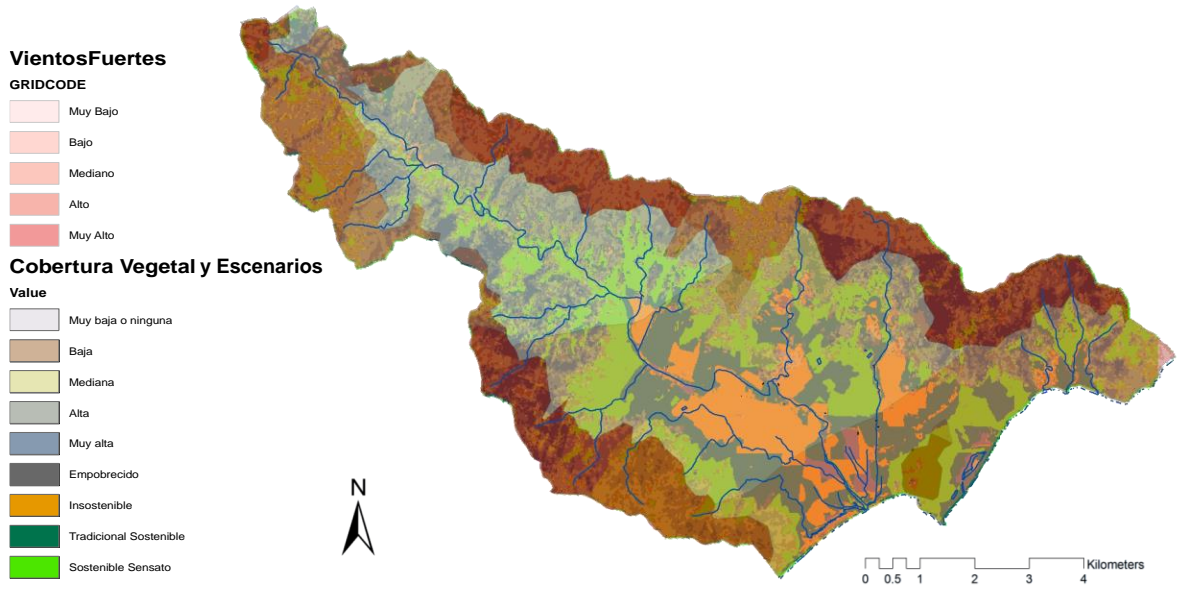
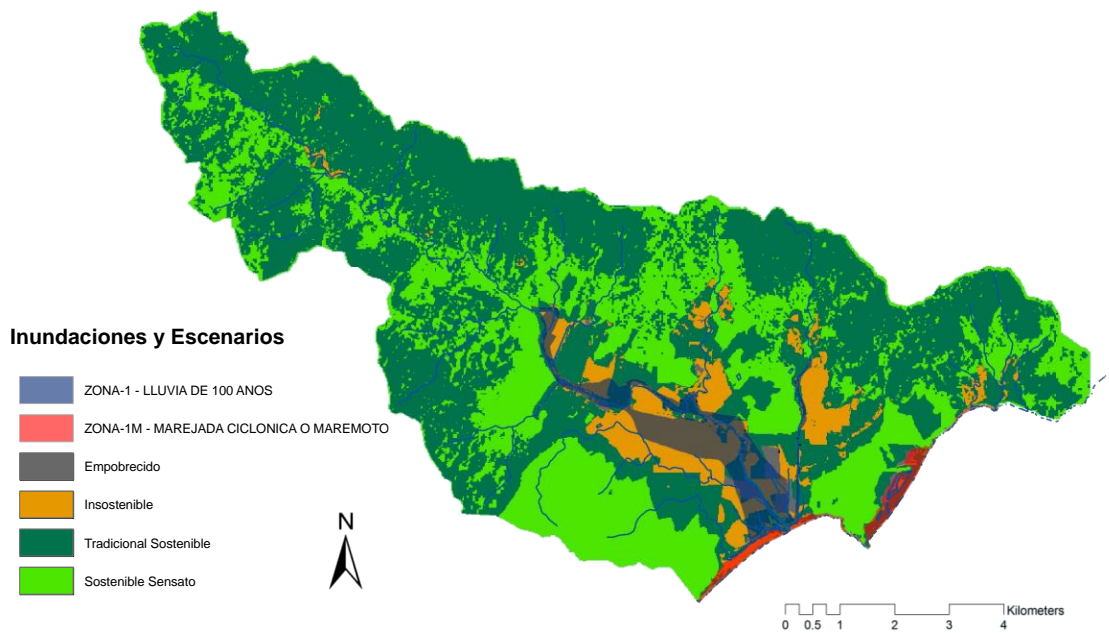


Figura 19 Combinación de Mapas Sostenibilidad e Inundaciones







3. Resultados

3.1 Proyección en el territorio de Escenarios de Sostenibilidad. Áreas representativas

La extensión ocupada por cada una de las clases de usos del suelo y ecosistemas considerados para la evaluación, dentro de los límites geográficos de la cuenca del Río Maunabo (Fig. 4), puede verse en la Tabla 3. El resultado del MSE aplicado a la cuenca hidrográfica del Río Maunabo (ver Fig. 13) refleja los siguientes valores para cada una de las clases:

Tabla 3 Resultado del análisis de SIG de la relación cada una de las clases con los escenarios de referencia del Modelo de Sostenibilidad Ecológica (en porcentaje de área en metros)

Clases (Ecosistema o zona de estudio)	Porcentaje de Área (m ²) de los escenarios			
	Tradicional Sostenible 	Sostenible Sensato 	Insostenible 	Empobrecido 
Playas y acantilados rocosos.	12,08%	79,54%	8,39%	0,00%
Humedales	75,13%	8,63%	11,37%	20,39%
Llanura de manglar costero	96,87%	0,16%	16,04%	0,19%
Planicie Aluvial	70,16%	5,07%	24,52%	0,25%
Pastizales y arbustos	78,67%	20,87%	0,45%	0,00%
Zonas agrícolas	70,42%	20,85%	8,43%	0,29%
Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	63,92%	35,18%	0,90%	0,00%
Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	99,03%	0,97%	0,00%	0,00%
Zonas urbanas	61,42%	37,78%	0,80%	0,00%
Río	99,63%	0,00%	0,16%	0,22%

La tabla 3 muestra un mayor porcentaje de áreas dentro del escenario de zonas empobrecidas en las zonas agrícolas. Esto se puede atribuir a la falta de

implementación de regulaciones de uso y manejo de las áreas. Actualmente, no existe un plan de manejo para controlar y monitorear el uso de los recursos para las zonas agrícolas. Aun así, este resultado no es relevante frente a la totalidad del área. La planicie aluvial, los humedales y el río corresponden también al escenario “empobrecido”, para el conjunto de componentes considerados. El Plan de Ordenación Territorial del Municipio de Maunabo (POT), muestra que no hay un manejo adecuado para esas áreas. Solo el que existe como parte de una clasificación de uso en ese mismo documento del POT. Las planicies de los ríos se ven afectadas por el uso inadecuado de las zonas agrícolas. La intensidad del uso del terreno en esas áreas muestra un alto nivel de erosión de suelos y una alta susceptibilidad a pérdidas de producción por eventos naturales.

Según la tabla 3, la planicie y los humedales muestran tener áreas de insostenibilidad mayor que otras de las clases estudiadas. Las zonas agrícolas y las playas, son las siguientes en cuanto a representación de áreas a usos “insostenibles” según el resultado del MSE. Sin embargo, los sistemas de las playas y manglares no se observan deteriorados actualmente, existe voluntad de las comunidades y organizaciones locales en prestar vigilancia voluntaria en el uso de estos ecosistemas y los recursos que contienen.

El área de estudio, actualmente tiene una población de 14.425 habitantes. Según el Plan de Ordenación, aproximadamente una tercera parte de la población vive en centros urbanos y la otra en las áreas montañosas. Como resultado de esta evaluación, no se observó una marcada insostenibilidad en el uso urbano y tampoco áreas de deterioro (escenario 4) que requieran especial atención como consecuencia del urbanismo.

3.2 Patrón de la cobertura vegetal y el MSE

En el patrón de la cobertura vegetal, se observó que el máximo de vegetación se encuentra en las áreas más elevadas la cuenca, y el mínimo de cobertura en las zonas de llanos y las costas (ver Fig.14). La llanura de la cuenca tiene una cubierta vegetal y usos del suelo constituida por las clases pastizales, áreas agrícolas, zonas

urbanas y el paso del Río Maunabo. Existe una franja de vegetación en la costa compuesta de manglares, humedales y una zona de monocultivo de palmas de coco.

La comparación entre el MSE y la cobertura vegetal, indica una relación entre los escenarios de sostenibilidad tradicional y sensata, y las coberturas de vegetación alta y mediana. La mayoría de la alta cobertura vegetal se encuentra dentro de un escenario sostenibilidad sensata del uso de los suelos, así como en menor medida, en el sostenible tradicional, donde se aprecia muy poca actividad dentro de las inmediaciones del bosque secundario existente. Sin embargo, en la llanura de la cuenca, existen usos de suelo de alta intensidad sin que consten mecanismos de manejo de los recursos que mantengan o aseguren un adecuado aprovechamiento de los ecosistemas (coherencia ecológica) para minimizar el riesgo de alteración o deterioro.

El caso de los humedales en la costa, muestra una alta cobertura vegetal en áreas clasificadas según el modelo, como “empobrecidas”. La razón se debe la falta de implementación de control de uso del recurso, en especial la alta incidencia en la extracción de cangrejos y otras especies para uso como carnada. Aunque hay temporadas en que está prohibido extraer cangrejos de los manglares y humedales, los propios residentes de áreas cercanas señalan que no hay nadie que supervise esa restricción.

3.3 Relación MSE - Cobertura Vegetal – Riesgos Naturales

De forma general el análisis comparativo de la representación sobre el territorio de capas correspondientes a escenarios de sostenibilidad ecológica, cobertura vegetal y vientos fuertes (Fig. 18) muestra una alta relación entre los escenarios de sostenibilidad sensata y tradicional y las áreas de alto riesgo en cuanto a peligros de vientos fuertes. Este resultado parece mostrar una inconsistencia en cuanto a la función de soporte de los servicios ecosistémicos de mitigación de riesgos por parte de las áreas de montaña sometidas a estos usos (escenarios). Sin embargo, según el Plan de Mitigación de Riesgos Naturales realizado por el Municipio de Maunabo (PMRNM) (el área municipal se corresponde con la de la cuenca), no existe

evidencia de problemas mayores relacionados a los vientos fuertes dentro de muchas de las áreas que han sido potenciadas (consideradas en dicho plan) como susceptibles a daños por vientos fuertes en el modelo hecho en la EIRN. Seguramente esto se deba a que la metodología aplicada al modelaje de las áreas expuestas a riesgo potencial de daños por vientos fuertes, no incluyó el posible papel de los ecosistemas como mitigadores de daños por eventos catastróficos. Aunque reconoce que donde hay una red de raíces arbóreas que estabilizan el terreno debe existir menor riesgo a derrumbes, no se llevó a cabo una integración del valor añadido que representan los ecosistemas de montañas para limitar el daño del embate del viento contra estos.

Según el PMRNM, los problemas mayores asociados a vientos fuertes afectan a las construcciones inadecuadas de las zonas altas que no están aptas para soportar vientos de alta intensidad energética. Naturalmente afectan asimismo a los cultivos al raso que se encuentran desprotegidos de los vientos. No es así en otros pequeños cultivos bajo sombra, protegidos de los vientos por el efecto amortiguador de la densidad boscosa en áreas de la montaña. A pesar de lo anterior existen evidencias en el PMRNM de que los vientos, según su intensidad, han afectado a los ecosistemas debido al impacto violento e intensivo sobre los mismos. Dentro de este contexto, las áreas que se han identificado como escenarios sostenible sensato y tradicional han mostrado recuperarse con agilidad y en poco tiempo.

En cuanto a las inundaciones, hay una alta relación entre lugares identificados dentro del escenario insostenible y los lugares inundables (Fig. 19). Las prácticas agrícolas en lugares que muestran una intensidad en la ocupación de suelo sin un manejo adecuado del recurso que lógicamente es reflejado en MSE. También se observa ocupación de actividades de cultivos al raso en el área de planicie de inundación, lo que naturalmente debe suponer una de las causas de pérdidas de producción como consecuencia de las frecuentes inundaciones repentinas del área.

4. Discusión

4.1 Análisis de la efectividad del método

El estudio de la sostenibilidad ecológica demuestra un método para evaluar a una escala apropiada, de ecología del paisaje, el estatus en que se encuentran los ecosistemas según la ocupación y el manejo que se ha aplicado. El modelo permite apreciar asimismo la capacidad de flujo de servicios que pueden prestarse para diferentes beneficios. En trabajos previos, se ha podido evaluar la capacidad de los agro – ecosistemas en la península ibérica a través de esta evaluación multi-dimensional (Gómez Sal, 2007; Gómez Sal & González García, 2007). El método de evaluación de sostenibilidad del uso del recurso ha demostrado que a través del análisis de las dinámicas de producción, y su relación con en el sistema socio-económico y cultural que las regula, se puede visualizar de cerca detalles relevantes a los objetivos de sostenibilidad. A partir del estudio de la coherencia ecológica y el valor de la conservación, representativo del capital natural del que depende el flujo de servicios se puede establecer un acercamiento certero a la sostenibilidad del uso del ecosistema (Gómez Sal, 2001). En este trabajo queda demostrada la capacidad de este tipo de evaluación para abordar la prestación de servicios de regulación para la mitigación de eventos naturales. El estudio revela la importancia que tiene esta apreciación de la sostenibilidad (ecológica o fuerte) para la planificación, al permitir identificar áreas que probablemente son afectadas por los usos inadecuados a los que son sometidos los ecosistemas y/o componentes de éstos.

Contar con una referencia científica para avalar la selección de áreas de manejo para mejorar la prestación de servicios ecosistémicos para la mitigación de riesgos, permite dirigir los esfuerzos de gestión para la seguridad de la vida y propiedad (Pielke, *et al* 2003). También ofrece un marco para el proceso de conservación de la naturaleza y el patrimonio, así como para respaldar la toma de decisiones para el manejo efectivo de las áreas naturales, y su financiación como parte del esquema general de sostenibilidad y mitigación de los riesgos. Aunque en el presente estudio se intenta llevar a cabo un acercamiento hacia la integridad de los ecosistemas (lo

que constituye el principal argumento de la dimensión ecológica del MSE), este objetivo ha sido alcanzado sólo de forma parcial, basada en la cobertura vegetal. Una evaluación independientemente de la integridad ecológica a escala de paisaje maximizaría el potencial de análisis y resultado (De Leo & Levin, 1997). Un estudio de integridad ecológica tiene componentes de alcance funcional y conlleva un análisis amplio de conectividad, capacidad del ecosistema para sustentar usos, valor de conservación, grado de madurez, entre otras (Vélez & Gómez Sal, 2008). En el presente estudio, se reemplazó la evaluación de integridad con la cobertura vegetal por falta de información. Es recomendable llevar a cabo ese estudio en el futuro. Sin embargo, través del MSE, la integridad de los ecosistemas puede ser abarcada también recogida a partir de la coherencia en el uso o producción aplicada al ecosistema y la aptitud de estos, detalle que permite distinguir la diferencia entre el manejo adecuado o el que desestabiliza el sistema ecológico.

Aunque el traslado al territorio de los escenarios de sostenibilidad (MSE) ya habían sido realizado, tomando como referencia los límites municipales (Gómez Sal *et al.* 2003), la integración de una herramienta de análisis geográfico (SIG) ofrece un amplio margen de posibilidades. En el caso de la identificación de los escenarios, el MSE en el SIG (con las técnicas de sumatoria lineal y la AHP), ha añadido valor a la evaluación al poder observar los resultados del análisis en un plano geográfico. De modo que permite identificar aquellos ecosistemas candidatos a medidas de restauración de daños a su estructura para asegurar una adecuada prestación de beneficios de mitigación ante eventos naturales para los humanos y los propios ecosistemas.

4.2 Los servicios de los ecosistemas como mitigadores de riesgos naturales, evidencias deducidas del análisis

La MSE identificó la mayoría de las áreas montañosas dentro de los escenarios de sostenibilidad sensata y tradicional. Se esperaba que no aparecieran riesgos de mayor intensidad en esas áreas en comparación a otros lugares de intensidad moderada. Sin embargo, los mapas de la Evaluación Integrada de Riesgos Naturales

(EIRN) que hizo la Universidad Metropolitana de Puerto Rico (UMET) muestran un alto potencial a peligros por vientos fuertes en éstas. El PMRNM es el documento que sirve como referencia temporal a falta de información geográfica ya que registra los impactos y cambios en los patrones de los eventos naturales por los últimos 10 años, esos cambios pueden ser asociados con cambios en el uso de suelos. Ese documento confirma que las áreas de daños por vientos fuertes son evidentes en derrumbes mayormente en áreas donde existe desestabilización de terrenos por construcción de carreteras y/o residencias. No hay evidencia de daños mayores a las propiedades que se encuentran entre las áreas boscosas más allá de daños a la propia estructura por el inadecuado tipo de construcción. Claro que, por ser áreas altas, reciben vientos de mayor intensidad, por lo cual es natural que pueda existir algún tipo de daño mayormente asociado a objetos impulsados por el viento. Es importante mencionar que si no existiera la protección del bosque posiblemente no se pudiese vivir allí ni tener ningún tipo de uso comercial de baja intensidad como agricultura bajo sombra entre el bosque secundario (Parés *et al*, 2008), ya que no se encontraría el elemento que mitigase la intensidad energética de los violentos vientos. La EIRN, solo evaluó información geográfica típica (ej. topografía, precipitación, suelos) para modelar los mapas de potencial a vientos fuertes (intensidad y frecuencia), sin incluir elementos de forestación, deforestación, entre otras muchas características naturales que interfieren directamente en la dinámica de los ecosistemas y por efecto en los beneficios de mitigación (Emanuel, 2005). Mucho menos existe un análisis de integridad ecológica sobre el que basar el análisis del flujo de los servicios de los ecosistemas como reguladores de esos peligros. Otro de los datos demostrados en el documento del PMRNM es que los daños de mayor intensidad por los vientos fuertes son principalmente en los llanos y áreas agrícolas. Esto debido a las inundaciones, ya que la marejada ciclónica actúa como barrera contra el flujo del agua del río al mar produciendo una extensa inundación en el valle.

El no reconocer la aportación de los beneficios de los ecosistemas en la regulación de los riesgos por eventos naturales, los hace vulnerables a modificaciones que

consecuentemente puede incrementar su deterioro (Daily *et al*, 1997). Por lo cual queda mostrada la importancia de los servicios de mitigación y las consecuencias negativas que pueden derivarse de su no consideración en las evaluaciones para la planificación. El papel de mitigación de los ecosistemas boscosos y costeros ha estado siempre implícito en el conocimiento tradicional. Por ejemplo, cuando hay tormenta o huracán, los pescadores de la costa del Río Maunabo siempre resguardan sus embarcaciones entre los manglares costeros, reconociendo la gran importancia de la protección que brinda el recurso a su propiedad, a lo que cabe añadir su aprecio como medio de subsistencia.

La experiencia dice que la sociedad solo es consciente de la importancia real de los problemas, entre ellos ambientales, cuando estos llegan en forma de catástrofe (Gómez Sal, 2009). Esto sugiere la urgencia de romper con ese esquema mediante la divulgación y educación de los servicios naturales antes de que la propia voluntad humana nos conduzca a catástrofes mucho peores de los que se pueden observar y manejar con menos recursos económicos. Cabe señalar que la cuenca del Río Maunabo es una de las menos impactadas por el proceso de urbanización disparada en Puerto Rico y se mantiene, hasta el momento, como un área de alto valor escénico y natural. Existen, no obstante, propuestas de construcción de hoteles (POT, 2009, en revisión) en las costas que podrían cambiar el resultado final de esta evaluación.

Algunos datos importantes en el análisis de esta cuenca señalan que desde el nacimiento del río hasta la desembocadura al mar, el cauce tiene 14.5 km de longitud. El río se desliza por una pendiente pronunciada, desde una altura de 550 metros y la cuenca tiene un promedio anual de lluvia de 203 cm, por lo cual es muy vulnerable a inundaciones repentinas. El resultado de esta evaluación identifica muchas de las áreas dentro del escenario de insostenibilidad, con las áreas inundables. Sin embargo, es interesante observar que algunos de los ecosistemas que en este trabajo hemos considerado con capacidad de mitigación de inundaciones, también tengan mayor porcentaje de áreas correspondientes dentro de los escenarios de insostenibilidad y empobrecidos. Como es el caso de la planicie aluvial, los humedales y zonas del río en las áreas llanas de la cuenca. Las zonas

agrícolas son también afectadas y el manejo que se practica puede estimular el efecto de las inundaciones, como confirman los documentos locales revisados (PMRN 2006; Plan de Emergencias del Municipio de Maunabo, 2007; POT Maunabo, 2009 [en revisión])

El Municipio de Maunabo se conoce en Puerto Rico por su fama en especialidades culinarias, todas con cangrejos de la región. Por eso a los maunabeños se les conoce como, Cangrejeros de Maunabo. Anualmente se celebra el Festival del Cangrejo en Maunabo y es muy famoso en Puerto Rico. La preparación y futuro de este festival depende de la explotación del cangrejo en las costas de Maunabo y los pueblos adyacentes. Al no haber un monitoreo efectivo de la extracción de cangrejo, *Cardisoma guanhumi*, y otras asociadas a la pesca (carnadas, para hacer nasos [trampas]), la explotación excesiva del recurso puede ser causa de las áreas que han resultado como escenarios “empobrecidos” en humedales e “insostenibles” en manglares. Aunque haría falta un análisis temporal para confirmarlo, ese hecho es reconocido en Puerto Rico. Se hace necesaria una aproximación más detallada al problema general del manejo de las áreas costeras y los mecanismos de vigilancia de cumplimiento de reglamentos de restricción.

5. Conclusiones

5.1 Confirmaciones

En este estudio se determina la importancia de la inclusión de un método de evaluación de la sostenibilidad e integridad ecológica como parte de cualquier estrategia de planificación de usos de suelos. Mucho más cuando las decisiones a tomarse son dirigidas a la protección de la vida y propiedad de los humanos. Un hecho como ese merece analizarse desde un punto de vista ético, ya que si hablamos de la protección de los humanos deberíamos incluir en primer término la protección de la base de la vida de los humanos de igual manera. Esa base queda más que representada y extensamente asegurada en la conservación de los sistemas ecológicos, con su necesaria integridad y por tanto las funciones que sustentan los servicios necesarios para el bienestar humano. Sobre eso, la prestación de servicios

ecológicos puede ser hoy día científicamente confirmada como parte importante en la mitigación de eventos naturales de mayor impacto para los seres humanos, como lo son las inundaciones y huracanes. Para las zonas costeras, los casos del Huracán Katrina en 2005 y el Tsunami en la India en 2004, constituyen ejemplos recientes de importantes daños catastróficos, que podrían haberse mitigado con una planificación adecuada de los usos.

La inexistencia de estudios de valoración (empírica o analítica) para los servicios de los ecosistemas es una de las limitaciones más significativas para la transferencia de evaluaciones y modelos a información espacialmente explícita (Troy & Wilson, 2006 Hacer un planteamiento en el que se manejen criterios científicos contrastados sobre los servicios ecosistémicos de mitigación, y su papel de regulación activa de los riesgos naturales, es imprescindible para valorar económicamente esos servicios. La Ley de Mitigación de Desastres de Estados Unidos, obliga y ayuda económicamente a los Municipios (de Puerto Rico) a establecer medidas de mitigación de riesgos. Como se ha planteado en este trabajo, el mantenimiento de los servicios de soporte y regulación de los ecosistemas, pueden considerarse como medidas de mitigación que deben aspirar a ser partícipes de fondos económicos para asegurar, mantener y fortalecer sus bases. Por lo cual es legítimamente reclamable el derecho de ser, estar, mantener y reforzar las obras de la ingeniería ecológica (restauración de ecosistemas y manejo sostenible) que, evidentemente, no necesitarían de altas inversiones, como es el caso de las infraestructuras artificiales. En este sentido es prudente recordar el dicho popularmente conocido “nadie sabe lo que tiene hasta que lo pierde”. No obstante, pueden existir daños y modificaciones a los que han sido sujetos los ecosistemas (como mitigadores), que merecen ser complementados con obras artificiales para suplementar esos daños en caso de que sean irreparables.

La perspectiva de los ecosistemas como mitigadores añade otra razón a las ya numerosas que respaldan el mantenimiento de éstos. El permitir la legítima existencia de la integridad de los ecosistemas sugiere otro tipo de gestión en las prácticas de usos de suelos. Por ejemplo, se incrementa el valor añadido del turismo

de naturaleza al permitir a largo plazo la co-existencia de los servicios culturales de los ecosistemas. El valor escénico y natural está siendo un elemento importante entre las estrategias de turismo, precisamente por la demanda que tiene por personas procedentes de países desarrollados, que aprecian estos esos recursos en contextos diferentes.

5.2 Líneas de análisis futuros y recomendaciones

A pesar de que los resultados en este ejercicio experimental de traslado al territorio mediante SIG del modelo de sostenibilidad ecológica (Gómez Sal, 2001) pueden considerarse satisfactorios, su reconocimiento como una metodología es certera para la evaluación de la sostenibilidad en la ocupación del suelo y el flujo de servicios ecosistémicos, el alcance de la misma aún puede mejorarse de forma notable. Algunas de las recomendaciones que serán tomados en cuenta en un próximo ejercicio son las siguientes:

- Construir un mapa de integridad ecológica con un estudio de los componentes necesarios para cada uno de los ecosistemas los cuales incluyan conectividad, fragmentación de hábitat, funcionalidad y estructura del ecosistema, entre otros.
- Estudio temporal de los cambios de usos de suelos en la cuenca para establecer tendencias más claras de las alteraciones a los ecosistemas.
- Especificar y diseñar una serie de indicadores para monitorear los cambios y tendencias de los usos de suelos con relación a los servicios de los ecosistemas de regulación.
- Variables e indicadores más precisos para la evaluación del uso de los cuerpos de agua.
- Añadir más variables para añadir precisión.

No obstante, los resultados del método diseñado en este trabajo han podido demostrar un acercamiento certero que permite ser utilizado como referencia ante la toma de decisiones en el ejercicio de planificación de la ocupación y uso de suelos en la cuenca hidrográfica de Maunabo en Puerto Rico.

6 Bibliografía

- Anderson J, Bausch C., 2006. Climate change and natural disasters: Scientific evidence of a possible relation between recent natural disasters and climate change. *Policy Brief for the EP Environment Committee*, IP/A/ENVI/FWC/2005-35.
- Barredo, J. I., 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ra-Ma Editorial. 1ª edición.
- Barredo -Cano J., Bosque Sendra J., 1999. Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. *Geographical Systems*, nº5, , pp. 313-327
- Bishop, K.; Dudley, D.; Phillips, A. Stolton, S., 2004. Speaking a common language. *The uses and performance of the IUCN System of Management Categories for Protected Areas*. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, UK.
- Bosque Sendra, J., 1996. Técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de información geográfica en la ordenación del territorio. Portugal-España. *Ordenación territorial del suroeste comunitario*. Coordinadores: A-J. Campesino Fernández y Carmen Velasco Bernardo. Universidad de Extremadura, Cáceres, pp. 69-76.
- Bosque Sendra, J., García, R., 1999. Asignación Óptima de Usos del Suelo Mediante Generación de Parcelas por medio de SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio. *VII Conferencia Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica*. Mérida - Venezuela.
- Bossel, H., 1999. Indicators for sustainable development: Theory, methods, applications. *International Institute for Sustainable Development*, Winnipeg.
- Boyd J., Banzhaf S., 2007 What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*. vol. 63(2-3), pages 616-626.
- Breshears, D., Allen C., 2002. The importance of rapid, disturbance-induced losses in carbon management and sequestration. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 11:1-15.
- Carpintero, O. 1999. Entre la economía y la naturaleza. *Los libros de la catarata*. Madrid.

- CCSP, 2009. Thresholds of Climate Change in Ecosystems. *A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research* [Fagre, D.B., C.W. Charles ...]. U.S. Geological Survey, Reston, VA, 156 pp.
- Chavarro A., Quintero J.C. 2009. Economía Ambiental y Economía Ecológica: Hacia una vision de unificada de la Sostenibilidad. *Revista Ideas Ambientales*, Ed. 2
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, ... van den Belt, M. 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387:253-260.
- [CMNUCC] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2007. Ficha informativa: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y su Protocolo de Kyoto. http://www.cinu.mx/minisitio/cop16/fact_sheet_sp_Convention_and_Protocol.pdf
- [CMNUCC] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2009. Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. <https://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/eng/06.pdf>
- Daily G. C., Alexander S., Ehrlich P. R., ..., Woodwell G. M., 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural. *Issues in Ecology* No. 2, Spring.
- Daly, H., Cobb, J., 1994. For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future. Boston, Massachusetts: Beacon Press.
- De Leo, G., Levin S., 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology* [online]1(1): 3. <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art3/>
- Domínguez, C. 2000. Panorama Histórico Forestal de Puerto Rico. 2da Ed. Editorial Universidad de Puerto Rico. ISBN 0-8477-0395-9.
- Ewel, K. 1997. Water quality improvement: evaluation of an ecosystem service. In G. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. 329-344 pp. Island Press, Washington, D.C.

- Fischer, G., Tubiello H., van Velthuisen, Wiberg D., 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990-2080. *Technol. Forecasting Soc. Change*, 74, 1083-1107, doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021.
- Fisher, B., Turner K., Morling, P. 2007. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* Volume 68, Issue 3, 15:643-653.
- Galacho F.B., Ocaña C., 2004. Tratamiento con SIG y técnicas de evaluación multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales. Departamento de Geografía, Universidad de Málaga.
- Gould, W.A., C. Alarcón, B. Fevold, ..., E. Ventosa. 2008. The Puerto Rico Gap Analysis Project. Volume 1: Land cover, vertebrate species distributions, and land stewardship. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. Río Piedras, PR. 165 p.
- Gómez Sal, A. 2001. Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En Labrador, J. y Altieri, M.A. (eds.). *Agroecología y Desarrollo*. Mundi Prensa, pp. 83-119.
- Gómez Sal, A., Belmontes, J., Nicolau, J. 2003. Assessing landscape values, a proposal for a multidimensional conceptual model. *Ecological Modelling*. 168: 319-341.
- Gómez Sal, A. 2004. Sostenibilidad ecológica: espacios y oportunidades para un reto inaplazable. *Quórum*. 10:23-43, Universidad de Alcalá, Madrid.
- Gómez Sal, A. 2006. La naturaleza en el paisaje. *Paisaje y pensamiento*. Maduruelo, J: (Coord.); Abada eds., Madrid, 83-106 pp.
- Gómez Sal, A. 2007. Los puntos críticos de la sostenibilidad. Perspectivas desde Europa y América Latina. *Actas I y II Encuentro Hispano Americano sobre Desarrollo Sostenible*. Gob. de Aragón 82-101 p.
- Gómez Sal, A., González García, A. 2007. A comprehensive assessment of multidimensional agricultural land-use Systems in Spain using a multi-dimensional evaluative model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 120:82-91.
- Gómez Sal, A. 2014. La escala del paisaje en la agricultura ecológica. *Medio ambiente, Desarrollo rural, Paisaje*. Ae - 17:46-47

- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. The Free Press, New York.
- Kareiva, P., Watts, S. McDonald, R., Boucher, T. 2007. Domesticated nature: Shaping Landscapes and Ecosystems for Human Welfare. *Science*, 316: 1866-1869. DOI: 10.1126/science.1140170
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A. Dokken, D J., and White, K. S. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, United Kingdom. pp 1000.
- [MA] Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. *World Resources Institute*, Washington, DC.
- Meadows, D.H., 1998. Indicators and information systems for sustainable development. *A Report to the Balaton Group*. The Sustainability Institute, Hartland Four Corners, VT, <http://sustainabilityinstitute.org/pubs/Indicators&Information.pdf>,
- Meehl, G. A., 2000. An Introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 413–416.
- Ming J, Xian L, Lin-shu X, Li-juan C, Shouzheng T, 2007. Flood mitigation benefit of wetland soil - A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics*, 61 (2-3), pp. 217-223
- Millar, C.I., Stephenson N.L., Stephens S.L, 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*. 17:2145–2151.
- Milly, P. C. D., Dunne K. A. and Vecchia, A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, 17:347-350
- Municipio de Maunabo 2008. Plan de Ordenación Territorial del Municipio de Maunabo. *Tercera fase*. Oficina de Ordenación Territorial, Maunabo, PR
- Municipio de Maunabo 2005. Plan de Mitigación de Riesgos Naturales del Municipio de Maunabo. Oficina de Manejo de Emergencias Municipal de Maunabo, PR

- OAS (Organization of American States Unit for Sustainable Development & Environment) 2004. Managing Natural Hazard Risk: Issues and Challenges. *Managing Natural Hazard Risk*. Policy Series, Number 4
- Parés-Ramos, I. K., Gould W. A., Mitchell Aide T., 2008. Agricultural abandonment, suburban growth, and forest expansion in Puerto Rico between 1991 and 2000. *Ecology and Society* 13(2):1
<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art1/>
- Pielke Jr., R.A., Rubera J., Landsea C., Fernández M.L., and Klein R., 2003. Hurricane vulnerability in Latin America and The Caribbean: Normalized damage and loss potentials. *Natural Hazards Review*, 4(3):101–14.
- Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K... Blair R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117-1123.
- Running, S.W, Mills, L. S., 2009. Terrestrial Ecosystem Adaptation. Climate Policy Program at RFF Report. pp. 1-38
- Saaty, T. L., 1980. The Analytical Hierarchy Process: planning priority, settings and resource allocations. New York: McGraw-Hill.
- Searle, B., Cox, S., 2009. The state of ecosystems services. Moore Foundation Report, USA: The Bridgespan Group. <http://www.bridgespan.org/>
- Smith, M., de Groot, D., Perrot-Maître, D. and Bergkamp, G. 2006. Pay – Establishing payments for watershed services. Gland, Switzerland: IUCN. Reprint, Gland, Switzerland: IUCN, 2008.
- Troy A, Wilson M, 2006. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics* 60:435449
- UMET, 2003. Evaluación Integrada de Peligros Naturales para la Isla de Puerto Rico. Preparado por la Universidad Metropolitana por medio de una subvención para la Mitigación de Peligros Naturales de FEMA, concedida al Representante Autorizado del Gobernador (GAR) después del Huracán Georges.
- U.S. Climate Change Science Program (2008). Synthesis Assessment Product 3.3, Weather and Climate Extremes in a Changing Climate: Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands, at 8 (June).

Vélez Restrepo L. Gómez Sal, A., 2008. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala del paisaje. *Arbor* (v)184, 729: 31-44

WRI – World Resources Institute 2008. The Corporate Ecosystem Services Review: Guidelines for Identifying Business Risks & Opportunities Arising from Ecosystem Change.
http://pdf.wri.org/corporate_ecosystem_services_review.pdf

Zhou, Guoyi, Ge Sun, Xu Wang, Chuanyan Zhou, Steven G. McNulty, James M. Vose, and Devendra M. Amatya, 2008. Estimating Forest Ecosystem Evapotranspiration at Multiple Temporal Scales with a Dimension Analysis Approach. *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA) 44(1):208-221. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00148.

Anejo A

Selección de clases para la evaluación de la sostenibilidad

Código SIG	Clases seleccionadas	Descripción	Sub-categorías
1	Planicie aluvial	Abarca ámbitos de inundación del Río Maunabo, se extiende hasta la costa donde el Río desemboca al Mar Caribe. Se compone de una llanura aluvial de escasas dimensiones.	a) Bosque ribereño húmedo en bajas montaña b) Arbustos y pastizales ribereños semi-húmedos en bajas montañas
2	Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	En el área de estudio, las cubiertas vegetales en la alta montaña son de tipo húmedo (según zonas de vida Holgridge). Se tipifica por la elevación y el mapa de zonas de vida.	a) Bosques maduros secundarios húmedos non-calcareous en altas montañas b) Arbustos y pastizales ribereños húmedos non-calcareous en altas montañas
3	Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	El área de estudio tiene extensiones de terrenos en zonas de baja montañas (ladras) con diferentes sucesiones en sus zonas boscosas de tipo semi-húmedos (según zonas de vida Holgridge).	a) Bosques maduros secundarios semi – húmedos aluviales en terrenos bajos b) Bosques jóvenes secundarios semi – húmedos aluviales en terrenos bajos c) Bosques maduros secundarios semi – húmedos non-calcareous en terrenos bajos d) Bosques jóvenes secundarios semi – húmedos non-calcareous en terrenos bajos
4	Playas, arrecifes coralinos y acantilados rocosos	Playas con diferentes tipos de granulaciones en el litoral y zonas de dunas de arena sementadas (eolianitas) a lo largo de la costa del área de estudio.	a) Acantilados costeros y zona de rompeolas b) Playas de diversas granulaciones (arenosa – gravilla)

5	Llanura de manglar costero	Línea de manglares y pastizales costeros, incluye pequeñas lagunas de agua salobre y el estuario que interactúa con los diferentes tipos de manglares.	a) Manglares y pastizales costeros b) Estuarios y lagunas con interacción al manglar
6	Pastizales y arbustos	Áreas de pastizales de uso ganadero o que permanecen como tal luego del abandono, algunas de esas áreas colonizadas por especies de arbustos.	a) Pastizales y arbustos semi-húmedos aluviales en baja montaña b) Pastizales y arbustos semi-húmedos aluviales
7	Zonas agrícolas	Áreas de diferentes tipos de prácticas agrícolas, de tipo monocultivo al raso y plantaciones de diversas en zonas boscosas	a) Agricultura al raso y producción de heno b) Agricultura boscosa y plantaciones (palmeras)
8	Humedales	De diferentes tipos, los costeros, asociados a áreas estuarinas y los internos, asociados a agua dulce.	a) Humedales no-salinos de herbáceas inundables estacionalmente b) Humedales salinos de herbáceas inundables estacionalmente
9	Zonas urbanas	Todas las áreas de actividad urbana, de alta, baja o en vías de urbanizarse.	a) Zonas recientemente alteradas para desarrollos de construcción, vertederos y canteras. b) Densidad urbana alta c) Densidad urbana baja
10	Río	Río Maunabo	a) Hidrografía del Río

Anejo B

Dimensión Ecológica		Componente (reglas de decisión)	Validación	Atributo	ID	Variables (i)	Dispon.	Playas y acantilados rocosos.	Humedales	Llanura de manglar costero	Planicie Aluvial	Pastizales y arbustos	Zonas agrícolas	Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	Zonas urbanas	Ríos	Total enteros antes de la normalización	Normalización por dimensión (j)	Normalización final de todas las dimensiones	Ponderación (situación deseada) (1-5) (w _j)																	
Valor de conservación	59/156 = 0.38	<i>Mantenimiento de biodiversidad, en particular especies amenazadas.</i>	1	% de áreas mantenidas para protección de especies amenazadas	x	0.1429	0.0714	0.0714	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2857	0.2857	0.0000	0.1429	14	0.0897	0.0171	5																	
																						2	% áreas naturales protegidas existentes	x	0.1429	0.0714	0.2143	0.0000	0.0000	0.0714	0.2143	0.2143	0.0000	0.0714	14	0.0897	0.0171	5
																						3	% áreas patrimonio natural	x	0.1667	0.1111	0.1111	0.0000	0.0556	0.0556	0.1667	0.2778	0.0000	0.1111	18	0.1154	0.0220	5
																						4	% de aprobación y/o implementación de programas de restauración de ecosistemas	pc	0.0000	0.2308	0.1538	0.0000	0.0000	0.0000	0.1538	0.2308	0.0000	0.0769	13	0.0833	0.0159	5
Capacidad Sustentante (entre ecológico y producción) Sustentar usos	97/156 = 0.62	<i>Sistema biofísico equilibrado. Vegetación con alta cobertura (natural o semi-natural)</i>	5	% áreas de alta cobertura vegetal	x	0.0870	0.0870	0.0870	0.1304	0.0870	0.0000	0.1739	0.2174	0.0000	0.1304	23	0.1474	0.0282	5																			

Dimensión Producción		Validación	Atributo	ID	Variables (j)	Dispon.	Playas y acantilados rocosos.	Humedales	Llanura de manglar costero	Planicie Aluvial	Pastizales y arbustos	Zonas agrícolas	Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	Zonas urbanas	Ríos	Total enteros antes de la normalización	Normalización por dimensión (j)	Normalización final de todas las dimensiones	Ponderación (situación deseada) (1-5) (wj)
Coherencia ecológica	75/120 = 0.62	<i>Diversidad de producción</i>	9	% de variedad de productos agrícolas, artesanías e industrias (pesqueras, otras).	x	0.0000	0.1364	0.1818	0.0909	0.0455	0.2273	0.0909	0.0455	0.1364	0.0455	22	0.1833	0.0269	3	
	10		No. Variedad o tipos de parcelas en la ocupación del territorio.	x	0.0625	0.0625	0.0625	0.1875	0.1875	0.1250	0.1250	0.1250	0.0625	0.0000	16	0.1333	0.0196	4		
	<i>Producción adecuada a la aptitud de los ecosistemas (planificación de los usos)</i>	11	% áreas urbanas residenciales y comerciales	x	0.0000	0.0417	0.1250	0.1250	0.1667	0.1250	0.1667	0.1250	0.0833	0.2083	0.0000	24	0.2000	0.0294	2	
		12	% de usos agrarios ajustados a los patrones naturales	x	0.4286	0.0000	0.0000	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7	0.0583	0.0086	4	
		13	% de transformación de la línea de costas (artificialidad)	x	0.1667	0.1667	0.1667	0.3333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1667	6	0.0500	0.0073	2	

Eficiencia productiva (tecnología, conocimientos)	45/1 20 = 0.38	<i>Manejo sensato de los recursos agua y fertilidad (mantenimiento de retículas forestales, terrazas, cercos).</i>	14	<i>Origen del agua: Limitación de producción por disponibilidad o uso de agua (expresada en %)</i>	x	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	6	0.0500	0.0073	3	
			15	<i>% de usos de fertilizantes u otros químicos (pesticidas, etc.)</i>	x	0	0	0	0	0	0	1.0000	0	0	0	0	5	0.0417	0.0061	2
		<i>Eficiencia y alta productividad ecológica (tecnología)</i>	16	<i>% de áreas de producción agrícola</i>	x	0	0	0	0	0	0	1.0000	0	0	0	0	5	0.0417	0.0061	3
			17	<i>% de áreas de producción industrial</i>	pc	0.0625	0.0625	0.0625	0.1875	0.1875	0.2500	0.0000	0.0000	0.1875	0.0000	16	0.1333	0.0196	2	
			18	<i>% de producción de pesca</i>	x	0.3077	0.3077	0.3077	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0769	13	0.1083	0.0159	3	
						1.0279	0.7774	0.9062	1.0671	0.7300	3.3701	0.4838	0.2538	1.0947	0.2890	120	1.0000	0.1469		

Dimensión Cultural		Validación	Atributo	ID	Variables (i)	Dispon.	Playas y acantilados rocosos.	Humedales	Llanura de manglar costero	Planicie Aluvial	Pastizales y arbustos	Zonas agrícolas	Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	Zonas urbanas	Ríos	Total enteros antes de la normalización	Normalización por dimensión (j)	Normalización final de todas las dimensiones	Ponderación (situación deseada) (1-5) (wj)
Conocimientos y destrezas	71/187 = 0,38	<i>Conocimientos adaptados sobre los recursos, saber empírico, cultura rural.</i>	20	% de Manejo de la agro-diversidad (utilidad de las plantas, suelos, etc.) Expertos en el área.	PC	0.1000	0.0000	0.0000	0.2000	0.0000	0.4000	0.2000	0.1000	0.0000	0.0000	10	0.0535	0.0122	5	
			21	% de Extracción y/o usos prudentes de los recursos con fines artesanales (conocimientos artesanales)	PC	0.1111	0.1667	0.1667	0.1111	0.1111	0.0556	0.1111	0.1111	0.0000	0.0556	18	0.0963	0.0220	4	
		<i>Tecnología adecuada, conocimientos modernizados y con base científica.</i>	22	% Capacitación tradicional local para el uso del recurso.	PC	0.1579	0.2105	0.2105	0.0526	0.0526	0.1053	0.0526	0.0526	0.0000	0.1053	19	0.1016	0.0233	4	
			23	% Integración de tecnología actualizada.	PC	0.2000	0.2000	0.2000	0.0000	0.0000	0.2000	0.0000	0.2000	0.0000	0.0000	5	0.0267	0.0061	4	
			24	% Conocimientos de sistemas de uso eficiente del recurso	PC	0.1053	0.1579	0.2105	0.1053	0.1053	0.1579	0.0526	0.0526	0.0000	0.0526	19	0.1016	0.0233	5	

Dimensión Social																							
Componente (reglas de decisión)	Validación	Atributo	ID	Variables (i)	Dispon.	Playas y acantilados rocosos.	Humedales	Llanura de manglar costero	Planicie Aluvial	Pastizales y arbustos	Zonas agrícolas	Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	Zonas urbanas	Ríos	Total enteros antes de la normalización	Normalización por dimensión (j)	Normalización final de todas las dimensiones	Ponderación (situación deseada) (1-5) (wj)				
Uso estratégico del territorio	56/150=0.37	Mantenimiento de una demografía estable y equilibrada	30	% de cambio positivo en la tendencia demográfica. Cambios en el n° de habitantes.	x	0.2000	0.0000	0.2000	0.2000	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2000	0.0000	5	0.0333	0.0061	3				
			31	% de pobreza(censo)	x	0.0000	0.0000	0.1818	0.0909	0.0909	0.0000	0.2727	0.2727	0.0909	0.0000	11	0.0733	0.0135	3				
		Capacidad de la sociedad para aportar bienes y servicios socialmente apreciados	32	Colaboración de co-manejo del recurso con el gobierno	pC	0.1176	0.0588	0.1176	0.1176	0.0588	0.1176	0.1765	0.1765	0.1176	0.0588	0.1176	17	0.1133	0.0208	4			
			33	Turismo rural de naturaleza	pC	0.2222	0.2222	0.2222	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	9	0.0600	0.0110	5			
			34	Formación, educación, capacidades técnicas	pC	0.1429	0.1429	0.2143	0.0000	0.0714	0.1429	0.0000	0.0000	0.0000	0.1429	0.1429	14	0.0933	0.0208	5			

Dimensión Económica																							
Componente (reglas de decisión)	Especialización	Validación	Atributo	ID	Variables (j)																		
						Dispon.	Playas y acantilados rocosos.	Humedales	Llanura de manglar costero	Planicie Aluvial	Pastizales y arbustos	Zonas agrícolas	Cubierta vegetal de tipo semi húmeda de baja montaña	Cubierta vegetal de tipo húmeda de alta montaña	Zonas urbanas	Ríos	Total enteros antes de la normalización	Normalización por dimensión (j)	Normalización final de todas las dimensiones	Ponderación (situación deseada) (1-5) (wj)			
Rentabilidad	123/204 = 0.6	81/204 = 0.4	<i>Productos especializados y altamente demandados</i>	41	% de demandada de productos	pc	0.1071	0.1429	0.1429	0.0714	0.0714	0.1429	0.0714	0.0714	0.1071	0.0714	28	0.1373	0.0343	4			
				42	% de producción de alto valor económico	pc	0.1290	0.1290	0.1290	0.0645	0.0645	0.1613	0.0645	0.0645	0.1290	0.0645				31	0.1520	0.0379	5
				Independencia de apoyo externo	43	% de producción autosostenible	pc	0.1250	0.1875	0.1875	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.1250	0.0625							16
					44	% de producción subsidiada	x	0.0000	0.3333	0.3333	0.0000	0.0000	0.3333	0.0000	0.0000	0.0000				0.0000	6	0.0294	
			45	% de No. de industrias de producción estatales o regionales(en comparación a la isla)	pc	0.0000	0.0000	0.0000	0.1429	0.2143	0.2143	0.1429	0.0000	0.2857	0.0000	14	0.0686	0.0171	3				

Capítulo IV. El servicio de regulación de la erosión hídrica en la cuenca hidrográfica de los ríos Gurabo/Valenciano. Estimación mediante SIG.



Resumen

En la actualidad los estudios para determinar el valor del beneficio de los ecosistemas como reguladores de procesos ecológicos naturales son críticos. En esta evaluación se examina la aportación y beneficio de la presencia de los servicios ecosistémicos (a través de la estimación de la cubierta vegetal) en el control de erosión en dos cuencas hidrográficas que abastecen el embalse Carraízo el cual provee agua potable a la mayoría de los municipios del área metropolitana de Puerto Rico. Para esto se ha creado modelos de presencia y ausencia de cubierta vegetal en áreas boscosas, pastizales y humedales. Se estudió la erosión de suelo por escorrentía hídrica según la ecuación universal USLE/RUSLE y la cubierta vegetal actual y luego se modeló un escenario con la cubierta vegetal (Factor C de la ecuación) que habría en el futuro según las tendencias urbanas de los planes de usos de suelos en la región sin prácticas de conservación como se encuentra actualmente. La diferencia y/o beneficio de los servicios ecosistémicos se expresa en los costos de dragado de sedimentos correspondientes a la aportación de esas cuencas al embalse Carraízo en el escenario actual y futuro si no se establecen prácticas de conservación de suelos y se elimina la cubierta vegetal.

Abstract

Studies to determine the value of ecosystem benefits as regulators of natural ecological processes are critical today. This evaluation examines the contribution and benefit of the presence of ecosystem services (through the estimation of vegetation cover) in the erosion control for two watersheds that supply to Carraízo reservoir, which provides drinking water to most municipalities of the metropolitan area of Puerto Rico. For this, models of presence and absence of vegetation cover have been created in forested areas, grasslands and wetlands. Soil erosion was studied by water runoff according to the USLE / RUSLE universal equation and the current vegetation cover and then a scenario was modeled with the vegetation cover (Factor C of the equation) that would be in the future according to the urban trends in the PR Land Uses Plan for the water basin without conservation practices. The difference and / or benefit of ecosystem services is expressed in the costs of sediment dredging corresponding to the contribution of these basins to the Carraízo reservoir in the current and future scenario if no soil conservation practices are established and the vegetation cover is eliminated.

Palabras claves: *servicios ecosistémicos de regulación, erosión, USLE/RUSLE, ordenación territorial*

1. Introducción

La contribución de los servicios de los ecosistemas como apoyo a la prevención y capacidad de respuesta de la sociedad frente a eventos naturales continúa siendo ampliamente estudiada en el planeta (Navarro & Salgado, 2016; MA, 2005). Los casos evaluados referidos a los beneficios de los ecosistemas, surgen desde las necesidades locales para maximizar las posibilidades de suministrar bienes y servicios para la calidad de vida, mitigar riesgos y mantener las funciones básicas de los ecosistemas (Daily, 1997). Sin embargo, los métodos de evaluación para contabilizar los bienes y servicios provistos por los ecosistemas ha sido un reto mayor (Balmford *et al*, 2011). Debido a que la naturaleza suele ser invisible en las decisiones económicas, se ha ido reduciendo progresivamente el capital natural, sin entender que los costes reales de sustituir los servicios prestados por los ecosistemas y las soluciones alternativas realizadas por el ser humano, son a veces demasiado costosos para sustituir dichos servicios. Bajo esta premisa, muchos científicos han llevado a cabo esfuerzos para tratar de contabilizar los bienes y servicios de los ecosistemas. Iniciativas como la “Economía de los ecosistemas y la biodiversidad” (TEEB, por sus siglas en inglés) se han organizado para establecer estrategias de valoración de la biodiversidad y los recursos contenidos en los ecosistemas (Sukhdev *et al*, 2014).

Metodología de la iniciativa del TEEB

La iniciativa TEEB pretende llamar la atención sobre la invisibilidad de la naturaleza en las decisiones económicas que se toman en la formulación de políticas a nivel internacional, nacional y local, de la administración pública y empresarial. Considera que esta invisibilidad es un impulsor clave del continuo agotamiento de los ecosistemas y de la biodiversidad. El enfoque holístico de la TEEB sugiere que un acercamiento adecuado a la evaluación de los ecosistemas debe:

1. **Reconocer el valor:** identificar la amplia gama de beneficios de los ecosistemas, los paisajes, las especies y otros aspectos de la biodiversidad, como aprovisionamiento, regulación, hábitat/sostenimiento y cultura;
2. **Demostrar el valor:** uso de herramientas y métodos económicos para que los servicios de la naturaleza sean económicamente visibles para apoyar a los responsables políticos que deseen evaluar los costes y ventajas totales de un cambio en el uso del territorio; y
3. **Capturar el valor:** los beneficios del ecosistema y la biodiversidad en la toma de decisiones mediante incentivos y señalización de precios.

El método no propone una solución única de gestión, basada en costes y beneficios sino que considera la evaluación como una herramienta indispensable (TEEB, 2010).

North (1990), definía esas “instituciones” como las reglas básicas de juego en economía. O sea que las leyes, impuestos, constituciones, sistemas formales, seguros y reglamentos, normas informales, hábitos sociales, religión, ideologías, entre otras, han hecho uso de la institución de valoración como herramienta de orden de intercambio o símbolo de apreciación en la economía (North, 1990). Aunque la complejidad de la evaluación de los servicios ecosistémicos en el territorio y la biodiversidad es un reto perenne, se ha comprobado la efectividad en la aplicación de métodos en función de los servicios de ecosistemas estudiados¹. Por otro lado, asignar un valor a los servicios ecosistémicos no debe interpretarse como «poner precio a la naturaleza». La valoración económica utiliza varios instrumentos (unos de mercado y otros no) para reflejar el valor de los servicios naturales. Lo que TEEB ofrece es tanto un modelo de comunicación para dialogar con los responsables políticos en su propio idioma, en el que predomina la economía, como un conjunto de herramientas para evaluar e integrar una buena gestión en sus decisiones.

¹ Para una colección de casi 100 estudios de caso relativos al enfoque TEEB, ver el sitio web de la Agencia Medioambiental Europea ‘Visión de la Tierra’ (TEEB, 2014)

TEEB (2012) considera que la respuesta más ética frente al riesgo y la incertidumbre es no esperar hasta disponer de la información perfecta para actuar. Cada sociedad, afronta la decisión moral de actuar o no hacerlo.

En el caso de Puerto Rico, un país con una amplia historia forestal y con conflictos en el uso de suelos en espacios que pueden ser críticos por la ocupación de ecosistemas claves, la evaluación de los bienes y servicios es crucial. Con un enfoque basado en el acercamiento de la TEEB, este trabajo pretende una evaluación de los servicios de regulación, relacionadas con la pérdida de suelos en dos cuencas hidrográficas de Puerto Rico. Esas cuencas son afluentes de agua a un embalse que suple a la mayor parte del área metropolitana de PR. Por lo cual, cualquier cambio significativo en la composición de la cubierta de suelos puede afectar la capacidad de almacenamiento de agua en el embalse por sedimentación. En este caso, los costes asociados al dragado de sedimento adicional por cambio o ausencia del servicio de regulación de erosión es un indicador su valor.

1.1. Servicios de regulación para el control de erosión de suelos

Los servicios de los ecosistemas son beneficios que la gente recibe de los ecosistemas (Fig.1). Según la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005), esos servicios se pueden categorizar en servicios de aprovisionamiento tal como agua y alimento; servicios de regulación como control de inundaciones y erosión; servicios culturales como espirituales y recreacionales.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016), el mantenimiento de la calidad del aire y del suelo, el control de las inundaciones y enfermedades o la polinización de cultivos son algunos de los servicios de regulación proporcionados por los ecosistemas. A menudo son “invisibles” y, por consiguiente, en la mayoría de los casos se perciben como algo implícito de la existencia del ecosistema, cuando se ven dañados, las pérdidas resultantes pueden ser importantes y difíciles de recuperar.

Figura 1 Los ecosistemas y sus servicios



Uno de los servicios que los ecosistemas proveen como parte de su capacidad reguladora es el de prevención de la erosión y conservación de la fertilidad de suelos, es por esto que la FAO (2015) valora este servicio como una inversión en el proceso de minimizar la degradación del suelo, el agua y los recursos biológicos ya que son componentes esenciales para lograr la seguridad alimentaria y de los medios de vida. Los síntomas de la degradación del suelo son numerosos y comprenden la disminución de la fertilidad, la acidificación, la salinización, la alcalinización, el deterioro de la estructura del suelo, una erosión eólica e hídrica acelerada y la pérdida de materia orgánica y biodiversidad. Las repercusiones socioeconómicas resultantes son, entre otras, que la productividad de la mano de obra agrícola y los ingresos generados por la agricultura están cayendo, la migración a las zonas urbanas está aumentando y la pobreza rural se está agravando. Los esfuerzos encaminados a restablecer la productividad de los suelos degradados

deben complementarse con otras medidas que afectan a las prácticas de aprovechamiento de la tierra, en particular la agricultura de conservación, las buenas prácticas agrícolas y la gestión del regadío, así como la gestión integrada de los nutrientes de las plantas (Altieri & Rosset, 1995).

Por otro lado, otra de las repercusiones de la pérdida de suelos se observa en la sedimentación de los cuerpos de agua. Tanto las planicies de inundación como el mismo fondo de los embalses se ven afectados por la acumulación de sedimentos, lo que resulta en inundaciones en áreas donde antes no eran comunes (extensión de polígono de inundación) y pérdida de capacidad de almacenamiento de agua para los embalses (Brea & Balocchi, 2010). El servicio de control de erosión prestado por los ecosistemas tiene especial importancia para controlar la sedimentación de los ríos y embalses que suplen de agua potable a las comunidades. Un acercamiento metodológico para estimar en valor de la presencia y calidad de la cubierta vegetal frente a un panorama de modificación del uso de suelos, en especialmente útil e importante para generar información sobre la capacidad de los ecosistemas para retenerlos (TEEB, 2010).

Aunque la evaluación de los beneficios de los ecosistemas para la humanidad es un tema de estudio actual, estimar con exactitud un determinado servicio de regulación puede ser complejo. En este ejercicio, se simula la presencia/ausencia de cubiertas vegetales en dos escenarios, el actual y el de ordenación del territorio en el futuro; además, se compara con estimados de erosión, de esta manera se considera la cubierta vegetal existente en cuanto a su capacidad de mitigar la pérdida de suelos. El beneficio del servicio de la cubierta vegetal, en este caso, se ve reflejado en la calidad de agua en el embalse, tanto por su aportación en la mitigación de sedimento acumulado, como por la provisión de agua que aporta a través de toda la cuenca.

1.2. Relevancia de la evaluación de los servicios ecosistémicos para la ordenación del territorio

La Ordenación Territorial (OT) puede interpretarse como una expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica y, de manera simultánea, como un instrumento de planificación y gestión. Es transversal y afecta a las normas de carácter básico o general relacionadas con el funcionamiento y la administración del territorio (Gómez Orea, 2002). De otra parte, el enfoque de servicios ecosistémicos brinda una nueva base para encarar la evaluación ecológica que puede ser integrada a la planificación de la ordenación territorial a través del análisis de aquellos servicios que se pierden o que son afectados por la intervención humana. Intervenciones adecuadas en materia de planificación y manejo de recursos pueden permitir mitigar la degradación de los ecosistemas y aumentar su aporte al bienestar humano (Barral & Maceira, 2010).

Asignar una prioridad inadecuada a la estructura ecológica principal en la planificación física podría ocultar una pérdida de bienes y servicios ecosistémicos. La progresiva disminución y fragmentación de ecosistemas que ofrecen bienes y servicios, puede contener efectos irreversibles para la ciudad y sus alrededores (Fransesconi *et al*, 2014). Es por eso que la planificación y ordenación territorial tiene un rol crucial en la conservación de los ecosistemas y sus servicios. La responsabilidad ministerial en la OT de muchos países no puede continuar pasando por alto la inclusión concreta de los servicios de los ecosistemas en la planificación territorial local. Para eso es necesario generar y aplicar métodos de evaluación del servicio y el costo de su pérdida (TEEB, 2012). En los últimos años, múltiples herramientas han sido desarrolladas con la intención de incluir e integrar los servicios ecosistémicos a la OT con bastante éxito en la interpretación para la participación pública (Geneletti, 2008; Fontana *et al*, 2013; Ruckelshaus *et al*, 2015). Sin embargo, varios resultados generales de la gestión muestran que la integración de los servicios ecosistémicos en la planificación espacial requieren ser situados en

el contexto político-administrativo adecuado. Los servicios de los ecosistemas pueden ser manejados adecuadamente para los distintos propósitos solo cuando son evaluados íntegramente, excediendo los límites administrativos municipales y/o regionales (Grêt-Regamey, 2016).

Por otro lado, parte integral del proceso de planificación previo a la aprobación por parte del ministerio de un orden territorial que favorezca la conservación del valor del sistema natural, debe ser la educación e integración comunitaria para el éxito de la gestión. La conservación de los ecosistemas y sus servicios no solo es responsabilidad de los gobiernos sino de toda la ciudadanía, tanto los usuarios de los espacios del territorio como los beneficiarios de los servicios ecosistémicos debe conocer los efectos de las alteraciones del suelo sobre los ecosistemas locales (Tamayo, 2014). Del conocimiento y la aceptación de políticas de protección de los recursos, por parte de las comunidades dependerá el futuro del ecosistema. El elemento socio-cultural es por tanto de gran importancia en la planificación para la sostenibilidad ecológica de los usos humanos (Gómez Sal, 2004), todas las actividades propuestas deben ser en función del bienestar de las comunidades.

No solo se debe integrar el valor de los servicios ecosistémicos a la planificación del territorio, sino a la autorización de las actividades concretas a llevar a cabo y exigir métodos de conservación y/o mitigación de daños. En el caso de Puerto Rico, la clasificación de suelos de los Planes de Ordenación Territorial y ahora Plan de uso de Terrenos, permite conocer del tipo de ocupación territorial admitida. Sin embargo, a los proponentes de las obras territoriales les hace falta otro proceso para la adquisición de permisos y concretar el tipo de actividad para ejecutar las obras. Es por tanto que hace falta un análisis de los servicios provistos por los ecosistemas y clasificar aquellos que son más importantes o críticos; un tipo de información que debe estar disponible para la toma de decisiones en el territorio. Actualmente en Puerto Rico, la autorización de obras en un determinado uso de

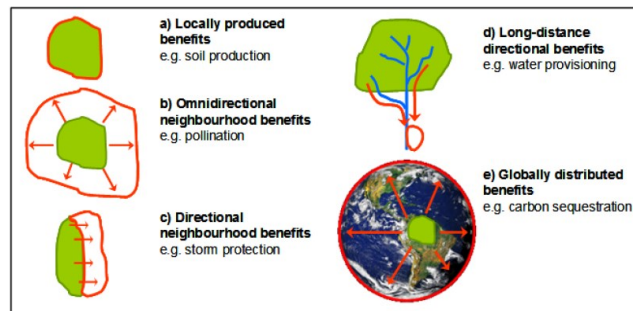
suelo requiere una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o una Evaluación Ambiental (EA) con la intención de estimar el posible daño a los ecosistemas y las medidas de mitigación necesarias. Sin embargo, en algunos casos, ecosistemas como pastizales, arbustos o bosques secundarios con especies introducidas o invasoras, son considerados “malezas” que no tienen mayor relevancia en el territorio. El tener disponible información sobre los servicios que esos ecosistemas brindan al país, región o comunidad, es un elemento importante de inclusión para la elaboración de esas DIA’s y mantener un panorama más claro de los servicios que se pueden alterar y las alternativas propuestas. De esa manera los servicios de los ecosistemas se integran a la planificación del territorio siendo conscientes de los efectos de sus modificaciones. Es prudente, por tanto, establecer que más allá de la OT, el ministerio público debe integrar como parte de estos procesos ordinarios, la inclusión de los servicios de los ecosistemas en los análisis de impacto por cambio en la configuración del territorio o proyectos particulares (Ruckelshaus, M. *et al*, 2015).

1.3. La escala en la evaluación de los servicios ecosistémicos

En el estudio de los servicios de los ecosistemas de regulación, la escala espacial es clave, en especial cuando las finalidades de esos estudios incluyen proyecciones basadas en escenarios con posibilidad de efectos tanto por cambios climáticos como por cambio de usos de suelos, y no existen datos certeros de la realidad local o regional de un lugar específico (Margrin, 2015). Hein *et al* (2006), señalan que es necesario el desacoplo escalar espacial que existe entre un ecosistema que suministra un servicio y las personas que se benefician, esto a través de la evaluación no solo de la capacidad de la función del ecosistema sino también de su requisito. De modo que el flujo de servicios puede distribuirse en diferentes direcciones (Fig. 2), por ejemplo, bosques de montaña alta como amortiguadores de inundaciones en pendiente abajo o llanuras por regulación de flujos hídricos; o distribuirse hacia una dirección como la protección de bosques de manglar en las

costas como absorbentes de energía para mitigar peligros de vientos fuertes y marejadas, y beneficiar con su protección comunidades en diversos lugares. Este argumento sugiere la separación de la idea de exclusividad del beneficio de los servicios ecosistémicos asociado a una misma escala geo-espacial y la relación entre las funciones (suministro del servicio) y el uso de éstos (beneficiarios), (Balmford et al, 2008).

Figura 2 Relación entre el suministro del beneficio ecosistémico y los beneficiarios.



a) Beneficios de producción local; b) Beneficio omnidireccional – beneficio hacia un área de amortiguación fuera del origen; c) Beneficios a los vecinos – beneficios direccionales hacia un lugar específico; d) Beneficio a larga distancia - cuando el usuario o benefactor del servicio se encuentra a distancia del origen del mismo; e) Beneficios distribuidos a nivel mundial - cuando los beneficios es usan a nivel mundial no importa el origen del servicio (Balmford et al, 2008, adaptado de Fisher et al, in press -a)

De modo que los beneficios de los ecosistemas no necesariamente están a distancia específica asociada con los beneficiarios. Es el caso de los bosques de montañas cuando retienen los sedimentos que se pueden acumular en los embalses o llanuras e incrementar riesgos a inundaciones en eventos de lluvias prolongadas (Meyerson *et al*, 2005). En esta evaluación, se ha demostrado que los servicios ecosistémicos solo son adecuados a su definición cuando se convierten en beneficios para la comunidad local (Fisher *et al*, 2008). Por lo cual, el uso del beneficio esta inherentemente vinculado con las actividades antrópicas y a la capacidad de incorporar estos beneficios a la planificación (urbana, comercial, industrial y cultural). Cuando el área geográfica de estudio es una cuenca hidrográfica, previo a

la planificación de cualquier ocupación del terreno, los servicios de los ecosistemas asociados con el área de captación deben ser de principal atención (Emanuel, 2005).

Un diagnóstico local y regional de los ecosistemas debe ser responsablemente llevado a cabo, el cual no debe excluir las actividades antrópicas que componen el mosaico de la cuenca, si es que existe una representación. Por lo que la ocupación del terreno, las dinámicas entre los diversos usos de los ecosistemas y la coherencia de esa dinámica con la capacidad de los ecosistemas de asimilar cambios deben ser evaluadas. Para analizar los servicios de los ecosistemas como reguladores en el control de erosión se debe prestar atención a la escala geográfica e identificar los ecosistemas que se asocian con la prestación de los servicios bajo estudio (Fisher, 2007). La prestación de esos servicios no puede ser un criterio de decisión para determinar alguna modificación o alteración para mejorar su rendimiento sin antes evaluar en conjunto otros de los servicios prestados por esos ecosistemas, de modo que sean considerados los conflictos de intereses que puedan ser derivados de estos (Kareiva *et al*, 2007).

1.4. Objetivos

En este capítulo se evalúa el potencial de los ecosistemas en su rol de reguladores, en este caso de mitigadores de pérdida de suelo, en la cuenca hidrográfica formada por los ríos Gurabo y Valenciano en Puerto Rico. Se utilizan técnicas de estimación de erosión de suelos en un Sistema de Información Geográfica. Los objetivos principales son,

- a) Estimar la aportación de sedimentos de dos subcuencas afluentes al embalse Carraízo que suple la mayor cantidad de agua potable al área metropolitana de Puerto Rico con el propósito de establecer la relación entre la cubierta vegetal actual y la cantidad de sedimento aportada al embalse.
- b) Crear un escenario donde se aplique el cambio de uso de suelos propuesto por el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico (PUT), con una aproximación a categorías

similares a los usos de suelos actuales para estimar cual sería el cambio en la aportación de sedimento si se llevara a cabo los usos propuestos sin medidas de conservación de suelos y las posibles modificaciones a la cubierta vegetal.

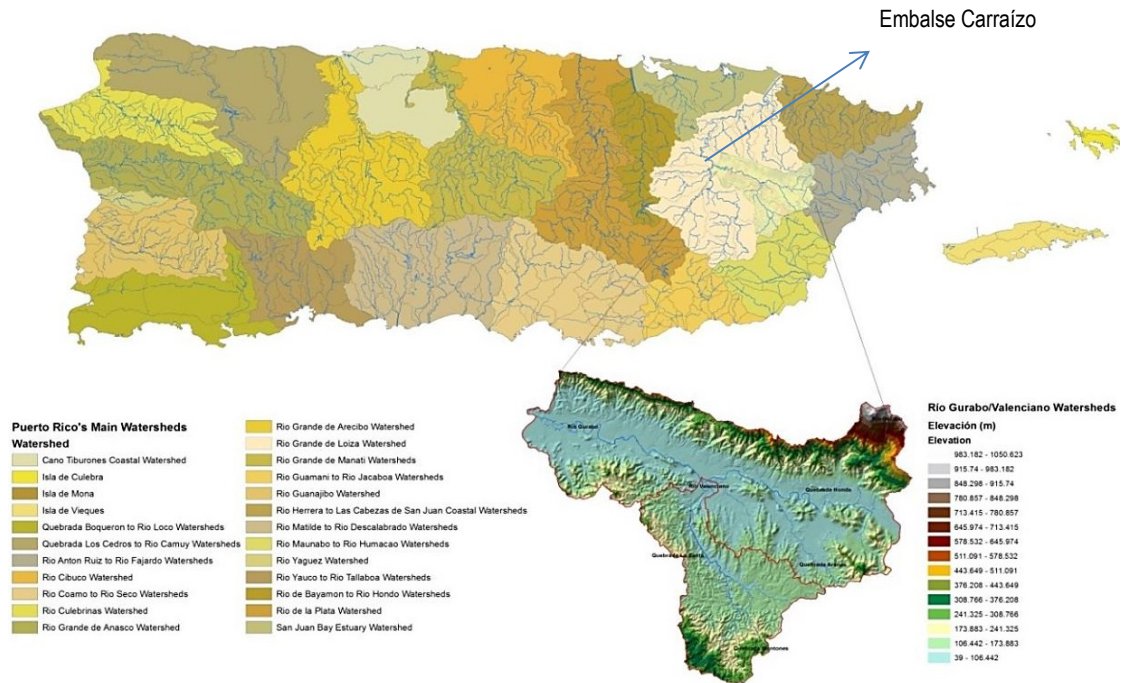
c) Estimar la variación de pérdida de suelo entre los escenarios debido a los cambios en la cubierta vegetal y la composición del mosaico territorial si se llevara a cabo el máximo de los cambios que permite la clasificación de suelos PUT, sin métodos de conservación de suelos.

2. *Materiales y métodos*

2.1. Área de Estudio

El área de estudio seleccionado en Puerto Rico, corresponde a dos subcuencas internas de la cuenca del Río Grande de Loíza, afluentes del Embalse Carraízo, (también así por el nombre del barrio donde ubica la represa). El Embalse Loíza es la fuente principal de agua a la Zona Metropolitana de San Juan, proveyendo un promedio de 90 millones de galones diarios a la planta de filtración Sergio Cuevas en Trujillo Alto. Este embalse tiene sus límites en los barrios San Antonio del municipio Caguas, Jaguas del municipio Gurabo, Carraízo y La Gloria del municipio de Trujillo Alto. Fue construido en el 1954 con el propósito de abastecer de agua potable a la zona metropolitana y para generar energía eléctrica. Cubre una superficie de 421,7 ha y tiene 24,7 hm³ de capacidad (Quiñones, 2012).

Figura 3 –Cuencas hidrográficas principales de Puerto Rico y el área de estudio de las Cuencas de Río Gurabo y Valenciano



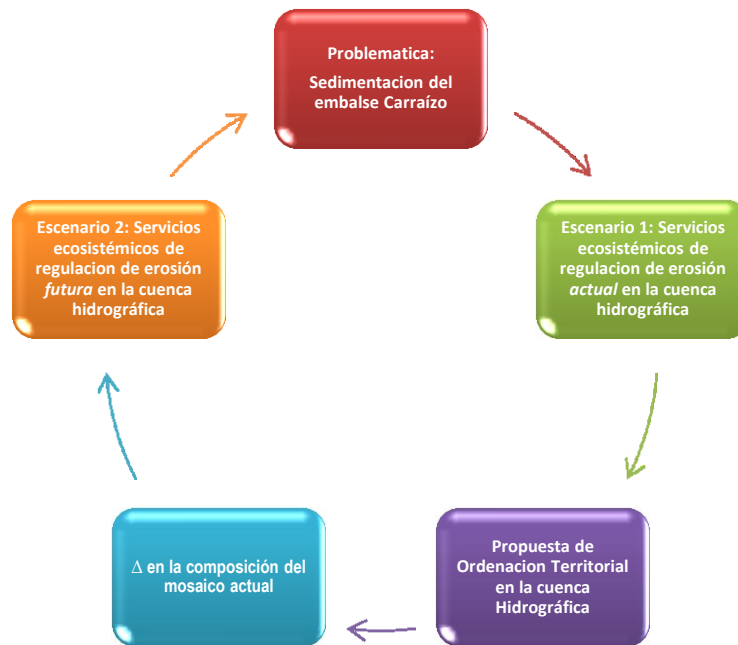
Las sub-cuecas bajo estudio están ubicadas en zonas de los municipios de Caguas, Juncos y parte de Las Piedras, en la región este-central de Puerto Rico, que incluye el valle interior de mayor extensión territorial en la Isla, con un área de aproximadamente 18.129 ha. El valle está formado por depósitos aluviales con espesores que alcanzan hasta 61 metros. Los ríos Gurabo y Valenciano fluyen por segmentos del valle hasta descargar al Río Grande de Loíza. Entre las dos cuencas mantienen un drenaje de 15.539 ha con una precipitación anual media entre 1778 – 1955 mm. En cuanto a la elevación, esta cuenca alcanza altura de aproximadamente 954 metros en su área más alta y su extensa llanura comienza en los 39 msnm.

2.2. Esquema conceptual y metodológico

Con la intención de establecer un acercamiento adecuado al valor de los ecosistemas, esta evaluación se fundamenta en uno de los problemas de mayor relevancia en la isla de PR, el manejo de agua (Dialogo, UPR, 2015). En Puerto Rico hay nueve embalses construidos para almacenar agua para el consumo humano,

siendo el embalse Carraízo uno de los de mayor relevancia puesto que provee agua a la mayor parte de la zona metropolitana y pueblos limítrofes. El sedimento acumulado en el embalse representa pérdida de capacidad para almacenar agua, costos millonarios en el dragado y una mayor vulnerabilidad a escasez de agua en tiempos de sequía, lo que conlleva problemas sociales y de salud en la región. Este trabajo desarrolla dos escenarios, el primero considera los usos de suelos actuales, con la cubierta vegetal existente y el segundo, con las proyecciones en la ordenación territorial según el Plan de Uso de Terrenos, 2015 (Fig. 5).

Figura 5 Esquema metodológico para estimar la aportación de sedimentos de dos escenarios



Con el propósito de estimar un resultado sobre la pérdida de suelo en ambos escenarios, se hizo uso de la ecuación USLE/RUSLE (McCool *et al*, 1987). La diferencia en el resultado de ambos escenarios se puede relacionar con el valor del servicio ecosistémico de mitigación de la pérdida de suelos y valorar su aporte.

2.3. Modelo USLE/RUSLE para estimar la pérdida de suelos en los escenarios

Se empleó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (USLE/RUSLE) para estimar la aportación de sedimentos de dos subcuencas afluentes al embalse que suple la mayor cantidad de agua potable al área metropolitana de Puerto Rico. La ecuación USLE es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinadas condiciones edáficas, topográficas, de precipitación y usos del territorio (Wischmeier & Smith, 1978).

Originalmente, la ecuación USLE se creó para las actividades agrícolas, luego ciertos ajustes se llevaron a cabo para estimar la pérdida de suelos para empresas de la construcción. Una vez se observó la efectividad de la ecuación para ciertos tipos de erosión, se comenzó a trabajar áreas de extensión mayor. En 1978, se trabajó en una versión computarizada para RUSLE, y todas las fórmulas de factores de estimación fueron mejoradas. En el 1992 fue liberada para uso público (USDA-NRCS, 1995a). La ecuación se utiliza para estimar pérdida de suelo anual y considera la erosión de suelo laminar y en surcos. Esta ecuación no considera erosión mayor como las hondonadas o cárcavas, los bancos de erosión por quebradas y/o ríos y deslaves.

La erosión laminar es el desgaste fino y uniforme de la capa más superficial del perfil de suelo por el efecto de lluvia [Fig. 6 (a)]. Es un proceso de erosión muy efectivo pues cubre grandes áreas de terrenos, tanto llanos como en pendiente, y no se nota hasta un tiempo después (Devauchelle *et al*, 2007). Regularmente se aprecia en las zonas llanas o con pendientes suaves.

Figura 6 Erosión laminar (a) y en surcos (b)²



(a)



(b)

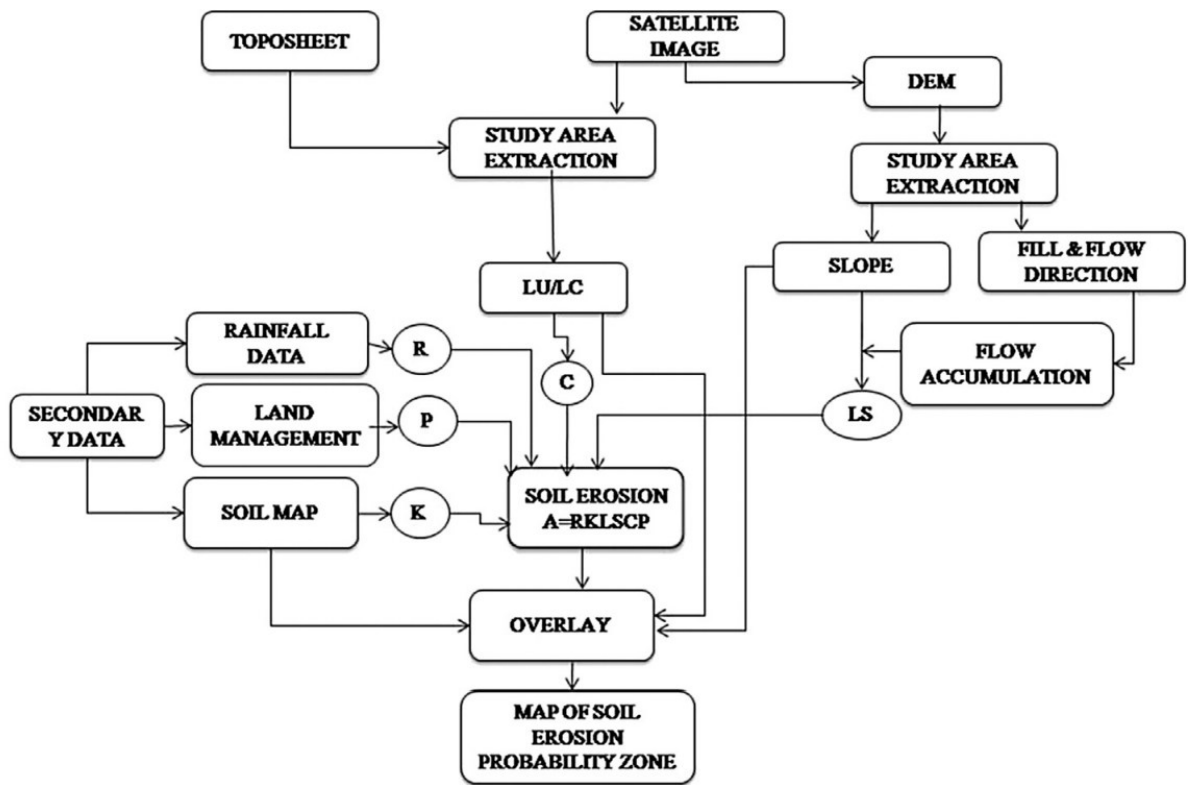
El análisis de las capas de información y la creación de los diferentes factores para los estimados de erosión se llevó a cabo en el programa ARCGIS 10.3 y sus extensiones. La Ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE) es:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

La ecuación USLE/RUSLE y sus parámetros de estimación han sido ampliamente utilizada en muchos países, también ha sido integrada a los sistemas de información geográficos para obtener mapas teóricos sobre la pérdida de suelo. El acercamiento gráfico adoptado del método aplicado a los sistemas de información geográfico se muestra en la Figura 7 (Ganasri & Ramesh , 2015).

² Tomado <http://www.kwaad.net/EconomicCostsOfSoilErosion.html> accedido en 26/09/2016

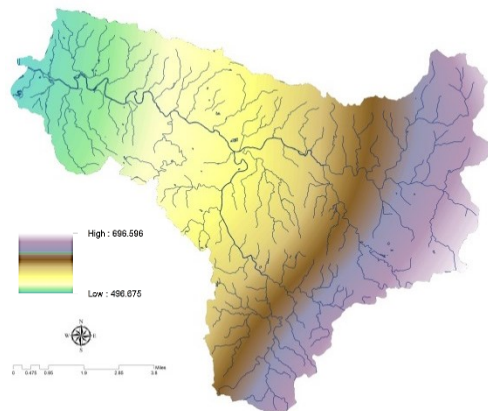
Figura 7 Gráfica del método utilizado para generar los mapas de erosión (Ganasri & Ramesh, 2015)



Según el modelo, el **Factor A** son las pérdidas de suelo por unidad de área y tiempo. O sea, es la pérdida de suelos o material erosionado calculado por unidad de superficie, expresada en las unidades de K (factor susceptibilidad de erosión del suelo) y el período seleccionado para R (el factor lluvia y escurrimiento), en toneladas (t) hectárea $(ha)^{-1}$ año $^{-1}$.

El **Factor R**, el factor de erosividad por lluvia refleja el efecto de la intensidad de la lluvia sobre la erosión del suelo en forma de índice de erosión (EI30). El raster de factor R utilizado para este ejercicio fue

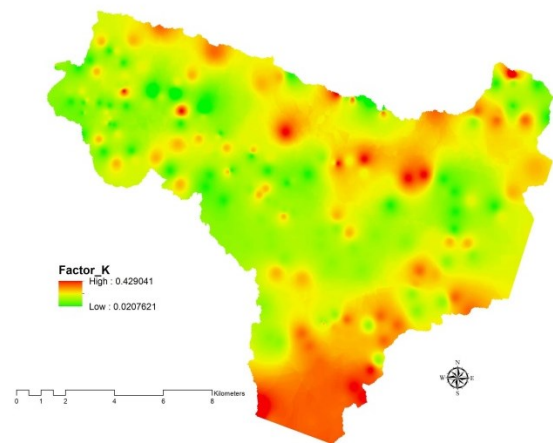
Figura 8 Factor R



obtenido de los mapas isoerodientes (líneas que conectan puntos de igual erosividad por lluvia) publicados en el “Estimado de Escorrentías para pequeñas cuencas hidrográficas rurales” (Runoff Estimates for Small Rural Watersheds and Development of a Sound Design Method, Volume II. (Fletcher *et al.*, 1977). Los isoerodientes para la Isla de Puerto Rico fueron obtenidos mediante interpolación lineal. Los datos del Factor R final son en formato GeoTiff a una resolución de 30 metros (obtenidos de NOAA, 2016).

El **Factor K** de erodabilidad del suelo, es la erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad R, para un suelo específico con una pendiente uniforme de 9% de gradiente y 22,1 m de longitud de pendiente en barbecho limpio labrado, es una medida de la susceptibilidad inherente de las partículas del suelo a la erosión. El raster del Factor K utilizado para el ejercicio es provisto por el Soil DataMart del Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS, 1995).

Figura 9 Factor K

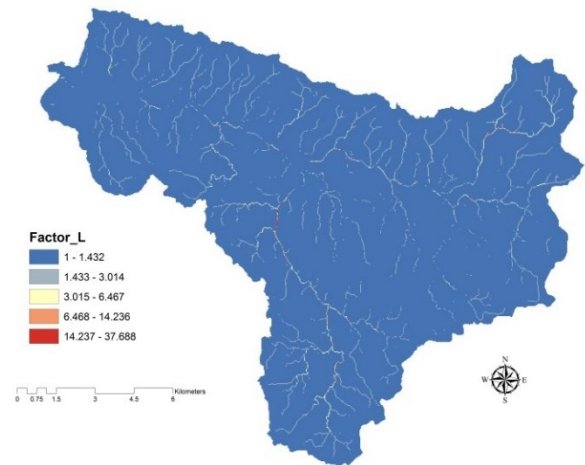


Los factores L y S son factores topográficos, el **Factor L** o factor de longitud de la pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente (Ganasri & Ramesh, 2016);

$$L(i,j) = \frac{(A(i,j)+D^2)^{m+1} - A(i,j)^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m}$$

El factor L , [m] es el exponente de la longitud de la pendiente A (i, j) es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y x es el factor de corrección de forma. La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido (Foster, 1982).

Figura 12 Factor L

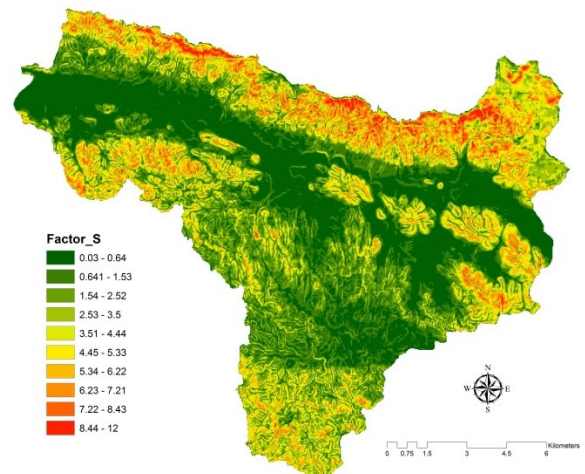


Para obtener los mapas, se calcularon los diferentes factores en la función de algebra de mapas en ArcGIS. Para adquirir los resultados del *Factor L*, primero se calculó la longitud de la pendiente (m).

Para el calculo del *Factor L* en rango de erosión en celdas con coordenadas (i, j) (Desmet & Govers, 1996).

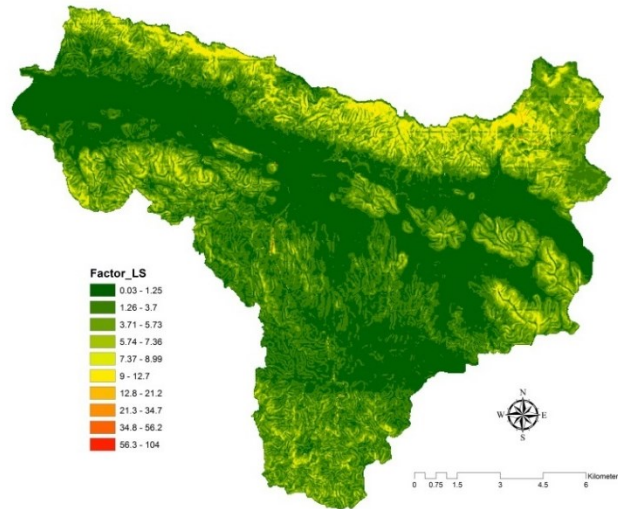
El **Factor S** es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de un gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área; (McCool *et al*, 1987).

Figura 13 Factor S



El resultado de calcular los rasters para establecer el Factor LS (longitud y gradiente de la pendiente) se observan en el territorio de la siguiente manera.

Figura 14 Factor LS



El **Factor P** de la ecuación es el factor prácticas de conservación de suelo que expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específico, como cultivo en contorno, cultivo en bandas o terrazas, con otro con labranza a favor de la pendiente. Para efectos de este ejercicio no se incluirá este factor dado que en el área de estudio no se llevan a cabo prácticas de conservación de suelos actualmente. El modelo representativo del escenario futuro tampoco contempla medidas de conservación de suelos para establecer parámetros similares y que los resultados arrojen valores comparables.

2.4. Selección de clasificaciones generales para la estimación del Factor C en el escenario actual

El **Factor C** de la ecuación USLE/RULE, representa uso de suelos, la relación de pérdidas por erosión entre un suelo con un determinado sistema de uso y gestión (rotación de cultivos, uso de los mismos, productividad, vegetación, etc.) y el mismo suelo puesto en las condiciones en que se definió K (Chicharro, 2007). Para efectos

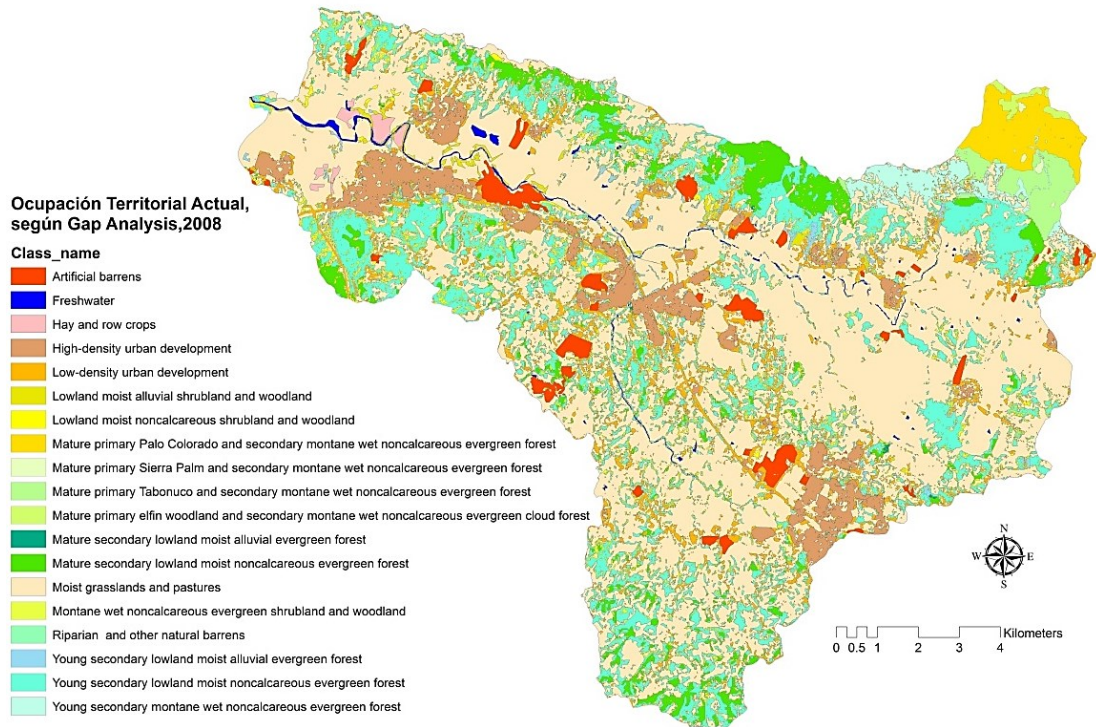
de la elaboración de los dos escenarios solamente el Factor C ha sido modificado para adaptarse a los nuevos usos del suelo. Los resultados de los demás factores fueron los mismos.

La cuenca hidrográfica del Río Gurabo/Valenciano contiene varios usos de suelos donde se pueden distinguir diversos ecosistemas boscosos, planicie de inundación de los ríos y quebradas, áreas urbanas y algunos pequeños polígonos de siembras. El mapa general de clasificaciones para las cuencas se basa en el Proyecto Gap de Puerto Rico (Puerto Rico Gap Analysis Project—PRGAP) es una colección comprensiva de información sobre la cubierta del suelo de Puerto Rico, distribución e historia natural de vertebrados, y áreas de manejo. Está basado en la metodología desarrollada por el programa nacional GAP de los Estados Unidos para determinar el grado en que especies y sus comunidades naturales están representadas en los territorios que están actualmente protegidos. Las especies o comunidades que no estén bien representadas son consideradas “gaps” o agujeros en el plan de conservación. El PRGAP tiene cuatro componentes: cartografía de la cobertura del suelo, documentación de las distribuciones de especies vertebrados, documentación de las prácticas de conservación en áreas de manejo, y un análisis integrando estos tres elementos. El análisis GAP desarrolló un mapa de cobertura del terreno de Puerto Rico utilizando imágenes de satélite recientes (1999–2003) e información sobre clima, geología, topografía, hidrología, e historia del uso del terreno.

En el GAP, se definió 70 clases de cobertura de suelos en un esquema jerárquico de clasificación basado en las siguientes coberturas básicas: vegetación natural, desarrollo urbano y agricultura. La vegetación natural se clasificó en bosque cerrado, bosque abierto, arbustos o pastizales. Las clasificaciones de bosque cerrado y pastizales son definidas más a fondo en seco, húmedo, mojado o inundado. Estas unidades son diferenciadas si ocurren en suelos derivados de caliza, aluvial, serpentina o substratos no calcáreos. Varios de los tipos de bosque cerrado fueron clasificados de acuerdo a su estado de conservación o sucesión, primario,

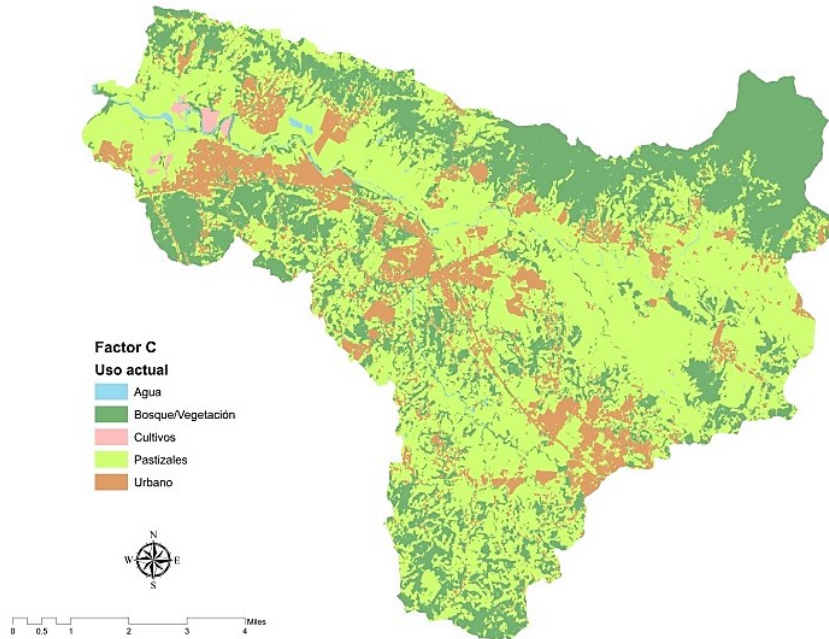
secundario maduro, secundario joven. Los manglares fueron clasificados en las clases, herbáceo, salino o no salino, y temporalmente inundado o emergente. Finalmente, información sobre comunidades de vegetación dominante, y especies representativas de la unidad de uso de suelos, fue incorporada cuando ésta estaba disponible (Gould *et al*, 2008).

Figura 15 Ocupación Territorial Actual, GAP 2008



El **Factor C** es el factor combinado de vegetación y manejo, expresa relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específicos a un área similar, pero en barbecho continuamente labrado. Para la recreación del escenario actual se agruparon todos los bosques, las áreas urbanas, las áreas agrícolas, los pastizales y los cuerpos de agua del GAP (2008) (Fig. 16). Esas clasificaciones fueron utilizadas para el cálculo del factor C.

Figura 16 Factor C *actual*



Se han seleccionado cinco clasificaciones (agua, pastizales, bosques/vegetación, agrícola, urbano) para estimar el uso del territorio general. Se utilizó la Guía de USDA, NRCS 1995, para el promedio de los valores de la ecuación referidos al Factor C para las clasificaciones seleccionadas (Tabla 1). Por lo cual, para los efectos de la ecuación RUSLE y para propósitos de este estudio, el factor C contiene la cubierta vegetal de diferentes tipos de ecosistemas presentes en la cuenca (Gould *et al*, 2008a). En la siguiente tabla se observan las clasificaciones, el

área de ocupación y el porcentaje de cobertura en la cuenca hidrográfica Gurabo/Valenciano.

Tabla 1 Clasificaciones seleccionadas, porcentaje de cobertura y valores del Factor C para el escenario actual

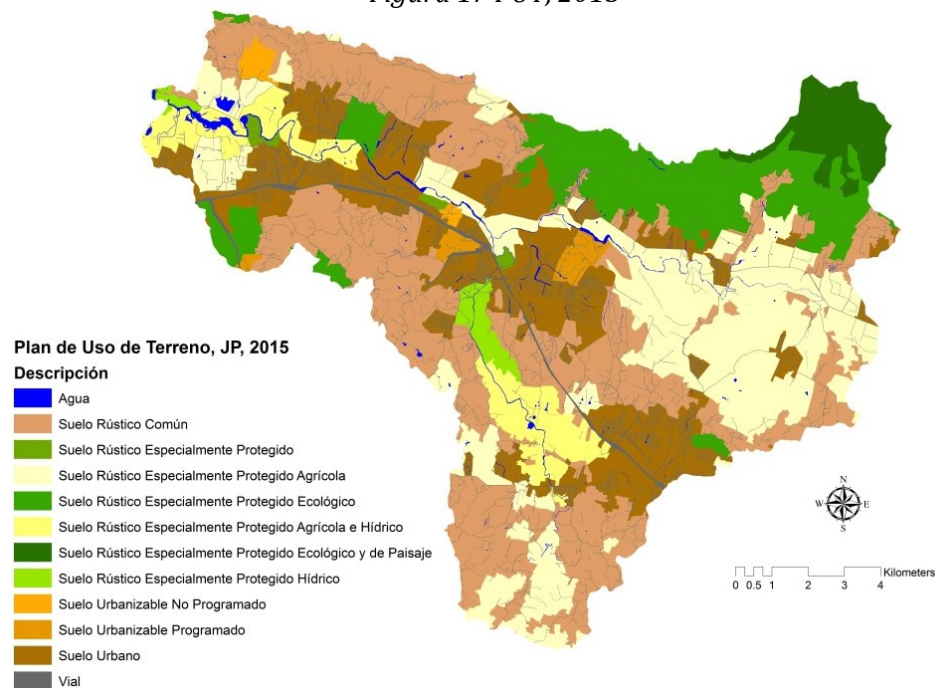
Tipos Suelo Actual	Factor C*	km2	% cobertura
Agua	0	0.96	<1
Pastizales	0.13	98.88	55
Bosque/Vegetación	0.004	57.15	32
Agrícola	0.44	0.66	<1
Urbano	0.85	23.55	13

**(NRCS 1995^a)*

2.5. Selección de clasificaciones generales para la estimación del Factor C en el escenario futuro, Plan de Uso de Terrenos (JP, 2015)

En la búsqueda de una metodología para estimar los servicios de los ecosistemas, se hace necesario analizar escenarios futuros para observar las posibles consecuencias de los cambios en la estructura de los mismos (Tammi *et al*, 2016). Con este objetivo, se propuso analizar posibles configuraciones en el mosaico territorial. En el 2015, el gobierno estatal de Puerto Rico aprobó un “Plan de Uso de Terrenos (PUT): Guías de ordenación del territorio”, emitido por la Junta de Planificación de Puerto Rico, con la intención de uniformar las clasificaciones territoriales de toda la Isla que hasta el momento había estado a cargo de la Administración Municipal de cada uno de los 78 municipios. Esto debido a que cada municipio tiene un Plan de Ordenación Territorial que, en muchas ocasiones, sus clasificaciones no concuerdan entre sí. Los criterios de selección de áreas para clasificar en muchas ocasiones no son las mismas, por lo que se identifican desfases en los límites territoriales de los municipios. De este modo, se determinó crear un solo plan que contuviera clasificaciones para toda la Isla.

Figura 17 PUT, 2015



Según la Junta de Planificación de Puerto Rico (Ministerio a cargo de aprobar la planificación de los usos de suelos), el Plan de Uso de Terrenos (PUT) establece una estructura clara y ágil para potenciar el territorio puertorriqueño al pleno de sus capacidades, dictando la política pública de valor, protección y desarrollo sostenible (Memorial del PUT, 2015).

El PUT aprobado y vigente, sirve de referencia para identificar cambios de configuración del territorio en las cuencas evaluadas. El Plan contiene varias clasificaciones que pueden describir cómo podría lucir el mosaico territorial si se llevaran a cabo los usos planificados en el futuro. A partir de estas posibles configuraciones, se ha elaborado un escenario futuro en este ejercicio.

Para efectos de este ejercicio se ha comparado los valores del Factor C correspondiente a la clasificación de Suelo Rustico Especialmente Protegido (SREP)

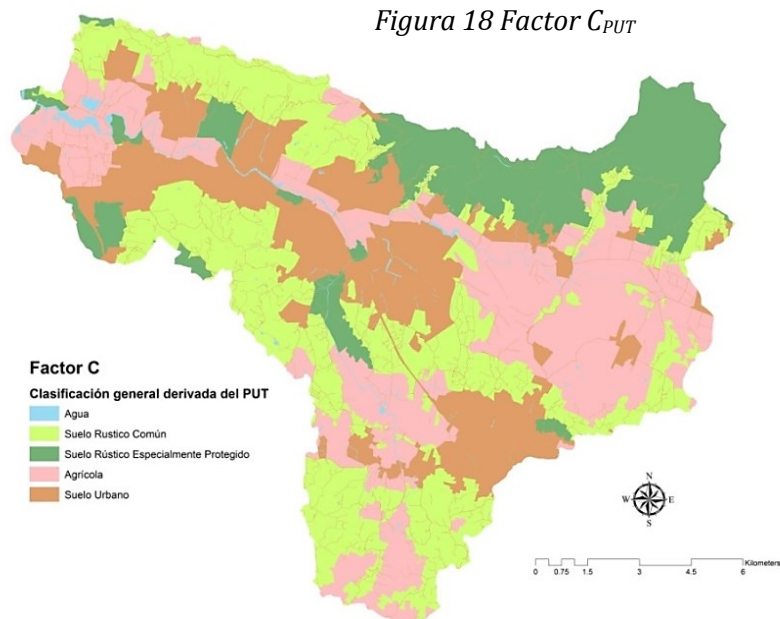
y Suelo Rustico Común (SRC) con las áreas de Bosques/Vegetación y pastizales respectivamente (Tabla 2).

Esto debido a que el SREP incluye aquellos lugares o espacios del territorio que tienen un valor escénico o valor de paisaje único y que se asocian con una especial riqueza, natural, agrícola y/o cultural, o aquellos lugares que interesen ser protegidos (Memorial PUT, Ley de Municipios Autónomos), por esta razón se asocian con áreas boscosas y densa vegetación. Todas aquellas subcategorías del SREP que representan clasificaciones en el PUT fueron agrupadas en SREP. La otra clasificación de Suelo Rústico Común (SRC), fue definido en el PUT como áreas para acoger toda la diversidad de actividades no urbanas, así como para las actividades rurales y de recreación. En esta clasificación pueden ocurrir distintas actividades, como los usos industriales pesados, las canteras, los vertederos, las comunidades penales, las instalaciones de infraestructura, las actividades agrícolas y pecuarias, así como de ciertas dotaciones y equipamientos, que en la mayoría de los casos no deben estar en las áreas habitadas (Memoria PUT, Ley de Municipios Autónomos). Actualmente, en estos suelos es común observar pastizales entre zonas rurales, matorrales, arbustos y bosques jóvenes secundarios (Tabla 3).

Tabla 2 Clasificaciones originales del PUT y sus agrupaciones para el ejercicio

Agrupación de clasificaciones	Clasificaciones originales PUT
Agua	✓ Agua
SU	✓ Suelo Urbano ✓ Suelo Urbanizable Programado ✓ Suelo Urbanizable No Programado ✓ Vial
Agrícola	✓ Suelo Rústico Especialmente Protegido Agrícola ✓ Suelo Rústico Especialmente Protegido Agrícola e Hídrico
SRC	✓ Suelo Rústico Común
SREP	✓ Suelo Rústico Especialmente Protegido Ecológico ✓ Suelo Rústico Especialmente Protegido Ecológico e Hídrico ✓ Suelo Rústico Especialmente Protegido Ecológico y de Paisaje Suelo Rústico Especialmente Protegido Hídrico

Figura 18 Factor C_{PUT}



Al SRC se le ha comparado con los suelos ocupados con pastizales para efectos de la evaluación en el escenario futuro ya que esa es su ocupación dominante (53%) y no se vislumbra cambios específicos a medio o largo plazo como lo pueden ser suelos agrícolas o urbanizables (Tabla 4). En otra categoría, tanto el suelo urbano (SU) ocupado, como el suelo urbanizable en todas sus categorías fueron agrupados suponiendo un escenario de urbanismo futuro en las cuencas, también fueron incluidas las vías en esa clasificación.

Tabla 3 Clasificaciones seleccionadas, porcentaje de cobertura y valores del Factor C para el escenario futuro

PUT Área de estudio	Factor C	km2	% cobertura
Agua	0	2.00	<1
SRC	0.13	55.68	31
SREP	0.004	30.34	17
Agrícola	0.44	49.45	27
SU	0.85	43.47	24

2.6. Cambio de uso de suelos

Una comparación entre las clasificaciones provistas por el PUT y la ocupación de suelo actual sugiere que en el SRC, un 53% de la ocupación estará compuesta de pastizales, mientras un 40% se compone de bosque/vegetación. En su mayoría, el SREP se compone de bosque/vegetación en un 75% y 24% de pastizales. Según esta evaluación, el área designada para uso agrícola por el PUT, actualmente tiene una ocupación de 83% de pastos y 14% de bosques/vegetación. Por último, el SU (incluyendo programadas y no programadas) abarca un suelo donde en la actualidad existe 42% de urbanismo, un 46% de pastos y 12% de bosques y vegetación (Tabla 4).

Tabla 4 Pareo de clasificaciones

Clasificación PUT, 2015	Uso actual (Gap Analysis Project, 2008)	Cambio en el uso (Km²)	Cambio en cobertura (%)
Agua	N/A	N/A	
SRC	Agua	0.013	<1
	Bosque/Vegetación	22.18	40
	Pastos	29.26	53
	Urbano	4.23	8
SREP	Agua	0.15	<1
	Bosque/Vegetación	22.68	75
	Pastos	7.24	24
	Urbano	0.27	<1
Agrícola	Agua	0.21	<1
	Bosque/Vegetación	6.68	14
	Cultivos	0.64	1
	Pastos	41.23	83
	Urbano	0.68	1

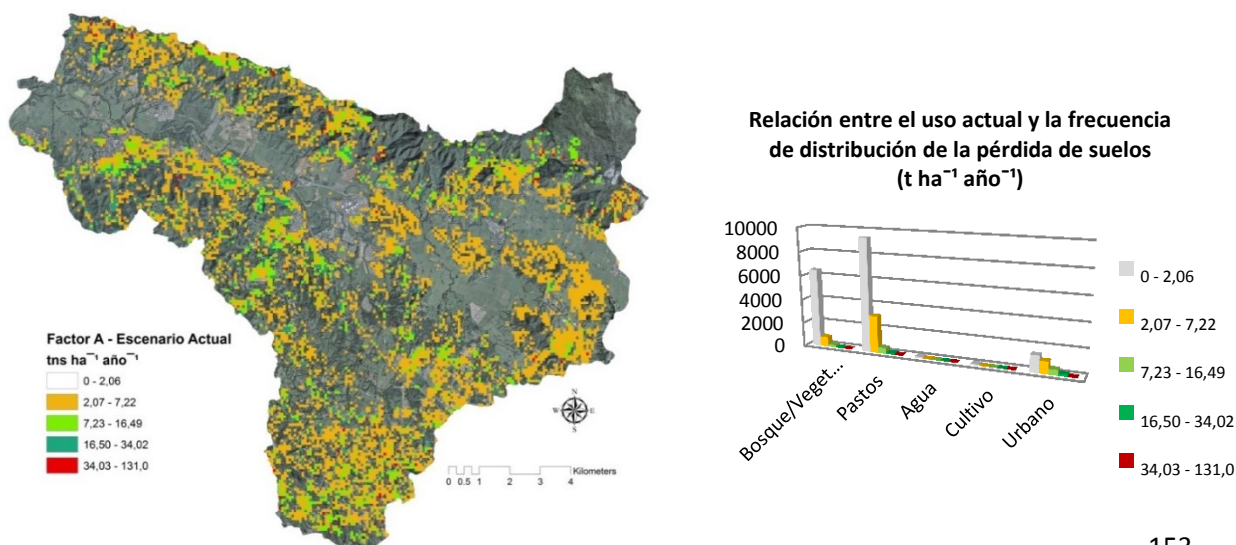
SU			
	Agua	0.023	<1
	Bosque/Vegetación	5.32	12
	Cultivos	0.02	<1
	Pastos	20.09	46
	Urbano	18.24	42

3. Resultados

3.1. Aplicación del método USLE/RUSLE a ambos escenarios

Una vez se tuvieron todos los factores necesarios para el cálculo de la erosión de suelos en ambos escenarios, se aplicó el método al modelo cartográfico haciendo uso del módulo “Raster Calculator” en el SIG. En el factor A_{actual} (Fig. 19), se puede observar que la mayoría de la pérdida significativa de suelos se encuentra entre las 2,07 y 77,22 t ha⁻¹ año⁻¹, generalmente en las áreas de pastizales, donde contiene la mayor frecuencia de distribución de esos valores. En las áreas urbanas también se observa, en menor frecuencia, áreas de similares valores. En áreas con cubierta de pastos y urbanos también se observa valores entre los 7,23 y 16,49 t ha⁻¹ año⁻¹ con menor frecuencia.

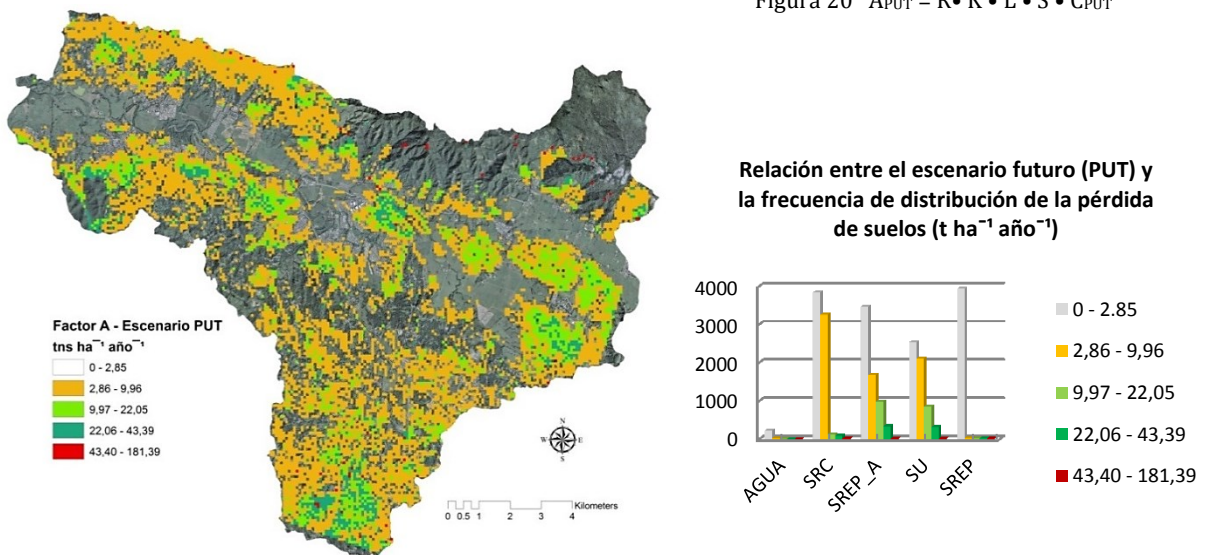
Figura 19 $A_{actual} = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C_{actual}$



La imagen muestra que, en el uso actual, las concentraciones de pérdidas de suelos se encuentran en pastizales mayormente en áreas montañosas con pendientes moderadas. La frecuencia de distribución de área es mayor en esas zonas, pero con valores de baja erosión, entre 0-2,6 t ha⁻¹ año. También se puede distinguir una mayor distribución en áreas urbanas y rurales donde los valores pueden alcanzar hasta los 34,02 t ha⁻¹ año⁻¹.

Una vez llevado a cabo el análisis de pérdida de suelos en el escenario actual, se procedió a repetir el proceso con los mismos factores, pero esta vez con los valores del factor C_{PUT} para arrojar resultados del escenario futuro. Al igual que en el ejercicio anterior, se aplicó el método al modelo cartográfico haciendo uso del módulo “Raster Calculator” en el SIG. En este escenario se distinguen los valores mayoritarios entre los 2,86 y 9,96 t ha⁻¹ año⁻¹. También se percibe en el territorio mayor número de áreas con valores de entre 9.97 y 22.05 t ha⁻¹ año⁻¹.

Figura 20 $A_{PUT} = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C_{PUT}$



A diferencia del escenario anterior, esta gráfica muestra valores de frecuencia de distribución solo hasta 4.000 en categorías de 0-2,85 t ha⁻¹ año⁻¹ dentro de los polígonos de SRC y SREP. Sin embargo, los valores próximos de 2,86 a

9,96 t ha⁻¹ año⁻¹ incrementaron en SRC, Agrícola (SREP_A) y SU. Pero la diferencia mayor se nota en las nuevas áreas agrícolas (SREP_A) y Urbanas (SU), donde tuvo un incremento entre las categorías de 9,97 hasta 43,39 t ha⁻¹ año⁻¹.

3.2. Deducciones de los escenarios: Pérdida de suelo en ambos escenarios

En el nuevo escenario, el incremento de las áreas agrícolas es significativo. Por esta razón se observa un resultado mucho mayor en la pérdida de suelo en áreas designadas para la agricultura. En el escenario actual, esas áreas están compuestas de 14% de bosques y 83% de pastizales, lo que sugiere que la remoción de esa cubierta incrementa significativamente la erosión laminar y de surcos en la cuenca hidrográfica. En áreas de Suelo rustico común (SRC), al cual se le otorgaron valores de pastizales por estar mayormente compuesto por éstos, se observó también un incremento, lo que se considera posible por el incremento en el polígono de ocupación con esa clasificación.

Tabla 5 Cambios en la pérdida de suelos en los escenarios

Clasificaciones	Escenario Actual (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Escenario PUT (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Cambio de pérdida suelos aprox. (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
Bosque	=<20*	-	5
SREP	-	=<15*	
Agrícola	=<6	-	175
Agrícola (PUT)	-	=<181	
Pastizales	=<65	-	18
SRC	-	=<83	
Urbano	=<78	-	5
SU	-	=<83	
Agua	-	-	-

*En ambos escenarios, el caso de los bosques y la clasificación SREP (donde mayormente se encuentran los bosques), el análisis arroja hasta un máximo de 131 t ha⁻¹ año⁻¹ en áreas de más de 40° de pendiente y con una precipitación anual máxima. Estas áreas representan menos de un 3% de la totalidad los polígonos.

Según los resultados de ambos escenarios y considerando los cambios en el factor C, el escenario futuro presenta un 28% de mayor pérdida de suelo que el escenario actual. En ambos escenarios se sugiere que no se llevaron a cabo prácticas de conservación de suelos, como es el caso actual. Esto significa que aproximadamente un 28% más de material podría ser aportado solamente por la cuenca analizada, uno de los afluentes del Río Grande de Loíza y depositarse en el embalse Carraízo. Eso podría ocurrir si se llevasen a cabo todas las propuestas de usos de suelos del PUT sin tomar en consideración medidas de control de pérdida de suelos. El costo de dragado de esa aportación adicional sería una manera de otorgarle un valor a la cubierta vegetal afectada por los nuevos usos de suelo.

4. Discusión

La agricultura es una de las actividades más necesarias en Puerto Rico. En la introducción de esta memoria de tesis se expone que la situación alimentaria de Puerto Rico requiere un incremento substancial de esta actividad en la Isla para favorecer la seguridad alimentaria. Tanto así que en el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico se han aumentado significativamente las áreas reservadas para este propósito. En el caso de la cuenca hidrográfica de Gurabo/Valenciano, los terrenos reservados para la agricultura aumentaron en un 27% con respecto a la actividad actual reflejada en el GAP Analysis (2008). Sin embargo, en este trabajo se desvela el conflicto de ocupación territorial en cuanto a maximizar las áreas para agricultura y como se puede afectar la prestación del servicio de mitigación de erosión de suelos por parte de ecosistemas que ocupan la cuenca. También se muestra el componente de extensión urbana, pero en menor grado. La toma de decisiones debería considerar la ordenación territorial en función de las prioridades regionales, en este caso, una cuenca que es afluente a uno de los embalses más importantes de la Isla de Puerto Rico.

4.1. Aumento de sedimento en el embalse

La erosión y generación de sedimentos es un proceso natural y depende de factores tales como la intensidad de la precipitación, la resistencia de los suelos y la pendiente o grado de inclinación del terreno. Esto se acelera por las actividades del ser humano como la remoción de la capa vegetal y el movimiento de los terrenos. La combinación de suelos en pendientes, lluvias abundantes y la transformación intensiva del terreno hacen que las tasas de erosión y sedimentación sean muy altas en Puerto Rico en comparación con la mayoría de las áreas del mundo (DRNA, 2008). Los ríos transportan los sedimentos hacia los embalses donde son atrapados. Los embalses son la fuente principal de agua en Puerto Rico. Todos están perdiendo su capacidad de almacenaje debido al proceso de sedimentación, pero existe mucha variación en las tasas de acumulación de un embalse a otro (DRNA, 2008). La disminución en la capacidad de los embalses a consecuencia de la sedimentación reduce gradualmente su capacidad de suministro (Martínez, 2015). Mientras se observa un incremento de material suspendido en los afluentes del Río Grande de Loíza, también se observa un aumento de sedimentación depositado en el embalse Carraízo.

La Iniciativa Internacional de Sedimentos (ISI, por sus siglas en inglés), fue lanzada como una de las más importantes actividades de la fase 2002-2008 del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO. La ISI advierte que *“Los procesos de erosión y sedimentación y la gestión de cuencas en sistemas fluviales y cuerpos de agua son importantes a escala mundial desde un punto de vista social, económico y ambiental. Se estima que en las próximas décadas más del 50% de la capacidad de almacenamiento de los embalses de agua del mundo puede verse reducida como consecuencia de los procesos de sedimentación y, por tanto, las prácticas de gestión de los sedimentos deberían ser mejoradas.”* En el caso del Lago Carraízo, en su función de retención de agua para mayor parte del área metropolitana de Puerto Rico, sus prácticas de manejo deben ser mejoradas más allá un plan para la remediación de

problemas de sedimento, los que requieren mucho dinero y recursos. En el año 1997-98, este embalse fue dragado a un costo de 60 millones de dólares (US\$). Modelos de prevención deben ser diseñados para asegurar que el suministro de agua no sea puesto en riesgo antes de que las consecuencias se presenten. Este trabajo muestra que la remoción de la cubierta vegetal puede tener un efecto negativo en la sedimentación del embalse por lo cual es necesaria la implementación de estrategias de conservación del recurso (Frank *et al*, 2014). Otras evaluaciones más detalladas para detectar áreas críticas de erosión de esa cuenca deben llevarse a cabo para asegurar su conservación y rehabilitación de su cubierta vegetal. Según la ISI, existen medidas tanto preventivas como correctoras que pueden contribuir a minimizar los procesos de colmatación (relleno de una cuenca sedimentaria con materiales detríticos arrastrados y depositados por el agua) de embalses y/o a reducir los efectos ambientales derivados. Las medidas preventivas tienen por objeto disminuir la aportación de sedimentos al embalse y/o impedir que se depositen en el mismo. La prevención en materia de colmatación de embalses se puede aplicar sobre el área productora de sedimentos, la cuenca, minimizando la producción y movilización de sedimentos, y sobre el embalse, maximizando el control sobre el paso de los sedimentos por el vaso de embalse.

En el concepto de manejo integrado de cuencas se pueden realizar actuaciones tales como la restitución de la cubierta vegetal, rehabilitación de torrentes, estabilización y conservación de suelos, entre otras.

4.2. Valoración de la cubierta vegetal

Se ha visto en este ejercicio que un 83% de los pastizales podrían pasar a ser de composición agrícola (Tabla 4). Los efectos dependerán del tipo de usos agrícolas mayormente los ganaderos y forestales. En un estudio llevado a cabo por Zeme *et al* (2015) el servicio de los pastizales es el que mayor reconocimiento adquiere por parte de la sociedad, mientras que motiva el uso de estos espacios con fines productivos como “provisión de forraje”. También los pastizales tienen

capacidad de recarga y descarga de acuíferos, la prevención o retardo de inundaciones (Otalvaro, 2004).

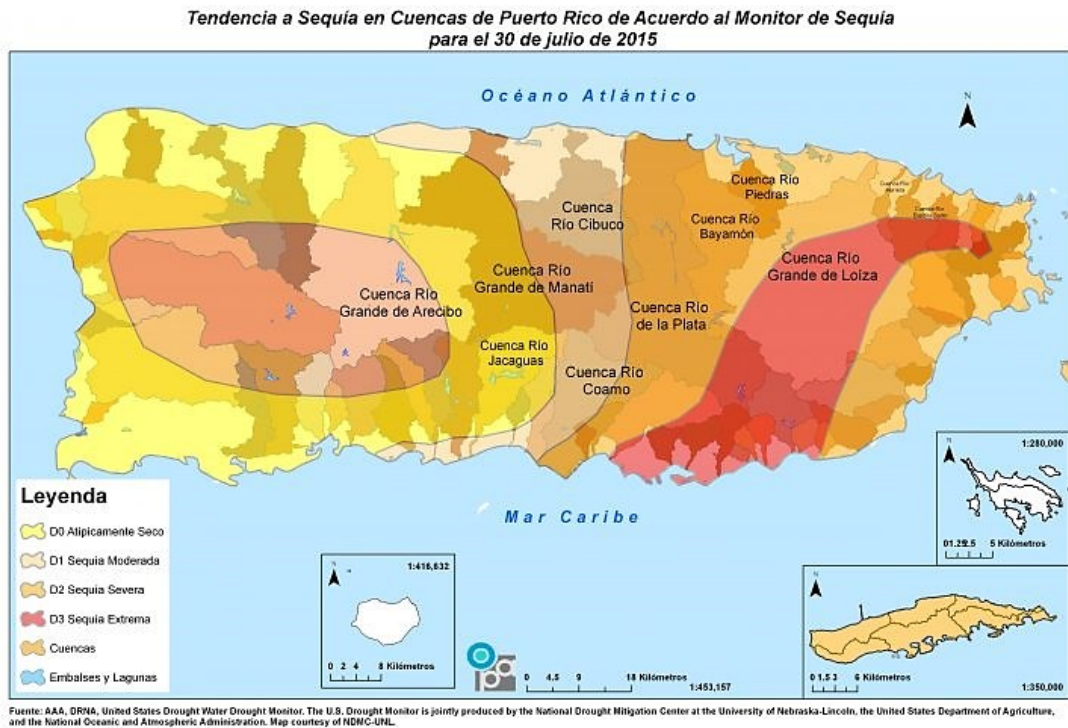
Más allá de la consideración referida a la cubierta vegetal, la mayor parte de los servicios ecosistémicos identificados se encuadran dentro de la categoría de regulación vinculándose al mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y a sistemas de soporte de vida (MA, 2005). Las funciones ecológicas asociadas a ellos son resumidas por De Groot (1992) en: regulación de gases, regulación climática, prevención de disturbios, regulación y abastecimiento de agua, formación y retención de suelo, regulación de nutrientes, tratamiento de residuos, polinización y control biológico. Según la TEEB, ecosistemas como los bosques, humedales y manglares ayudan a estabilizar los suelos y reducir la erosión. La cubierta vegetal protege los suelos de la fuerza de la lluvia mientras las raíces ayudan a mantener la estructura del suelo (Myers, 1996). También los bosques son conocidos por proveer varios servicios hidrológicos como reducir la carga de sedimentos en los ríos en las redes hídricas, regulan el flujo de agua en el tiempo, reducen el riesgo a inundaciones, ayudan cuando se presentan épocas de escases de lluvia aumentando el volumen de agua disponible y mejorando la calidad de aguas (Pagiola *et al*, 2004).

En esa línea, en Puerto Rico, la cubierta vegetal en el territorio representa una ventaja para las cuencas hidrográficas en cuanto a la retención de suelos y mantenimiento de los flujos de agua (Lin *et al*, 2006) lo que es un servicio sumamente importante en la cuenca hidrográfica de Gurabo/Valenciano. En el año 2015, la Isla atravesó una de las sequías más severas en los últimos tiempos. En el diario español El País, 2015³, reseñó la severidad de la sequía en Puerto Rico en medio del momento de crisis económica y divulga que fue la peor en los últimos 20 años. El coordinador de Avisos del Servicio Nacional de Meteorología (SNM) de Puerto Rico, Ernesto Morales advirtió que la sequía que ocurrió fue la peor de la

³ http://internacional.elpais.com/internacional/2015/08/08/actualidad/1439055215_619943.html
(accedido 6/16)

historia⁴. No solo fue la peor, si no que su origen y tendencia hacia efectos extremos se reflejó particularmente en la cuenca del Río Grande de Loíza, afluente del embalse Carraízo (Figura 21) y objeto de evaluación en este trabajo.

Figura 21⁵



4.3. Evaluación de los ecosistemas para la planificación del territorio

Desde la creación de la Ley de Municipios Autónomos de Puerto Rico 1981, se ha tomado en consideración la conservación de áreas naturales para asegurar su protección en el proceso de planificación para la ordenación territorial municipal en Puerto Rico. En la Ley, se creó la clasificación de Suelo Rustico Especialmente Protegido (SREP) para este propósito. Lo definió como “aquél no contemplado para uso urbano o urbanizable en un Plan Territorial, y que, por su especial ubicación,

⁴ <http://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/nota/advientenlasequiaqueafectaapuertoricopuedeserlapeordelahistoria-1089443/> (accedido 6/16)

⁵ <http://www.miprv.com/se-agudiza-la-sequia-en-puerto-rico/> (accedido 6/16)

topografía, valor estético, arqueológico o ecológico, recursos naturales únicos u otros atributos, se identifica como un terreno que nunca deberá utilizarse como suelo urbano”. Gracias a esta clasificación, se le ha otorgado un nivel de protección a áreas naturales con valor estético del paisaje y forestal, aunque algunas no tengan una designación oficial por parte del gobierno estatal. Otros bosques estatales, con designación de “Reserva”, también están bajo la clasificación de SREP en los planes de ordenación territorial municipal. Sin embargo, uno de los problemas que tuvo el gobierno estatal al delegar la ordenación del territorio a los municipios fue la excesiva compartimentación de las decisiones y criterios. La administración local cuenta en PR con setenta y ocho municipios. Al no establecerse criterios específicos para seleccionar las áreas a proteger en las clasificaciones territoriales para todos los municipios, los criterios de selección de áreas clasificadas como SREP, varían de un municipio a otro. Esto también ha ocurrido con otras clasificaciones del terreno. Por razones como estas, el gobierno de Puerto Rico decidió llevar a cabo un Plan de Uso de Terrenos (PUT) a nivel estatal que represente uniformidad y criterios para todo el territorio de la Isla. En este estudio se ha visto que, en el PUT, también se distinguen usos de SREP como en los municipales, sin embargo, hay varias categorías de protección adicionales como lo son el SREP-P [Paisaje], SREP-H [Hídrico], SREP-A [Agrícola], SREP-E [Ecológica]) ya que el gobierno decidió especificar unos usos en áreas particulares dentro de la clasificación SREP, derivado de la necesidad de desarrollo o protección de esas zonas con un grado de protección para esos determinados usos (Figura 17).

Según el Memorial del PUT, 2015, ahora se encuentra la categoría de (SREP-E [Ecológico]) con el objetivo de proteger los terrenos con valor ecológico o natural. En este se destacan los terrenos definidos por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). Además, con el fin de identificar las áreas con valor ecológico, se utilizó como guía la información del mapa de Land Cover del Forest Service 2006 y la información de Nature Serve del Fideicomiso de Conservación. Según el PUT, esas áreas merecen una protección especial e incluirse

en la denominación de la Ley de Bosques, así como aquellos espacios regulados por la Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico. También se exhortó a los municipios (los cuales mantienen sus Planes de Ordenación Territorial) a añadir en esta categoría a “aquellos elementos no incluidos en dichas delimitaciones, pero que se estimen convenientes para asignarles un alto nivel de protección por ser zonas de interés ecológico” (Memorial PUT, 2015). Además de esa categoría dentro de los SREP, otras diferentes fueron definidas como la de *Áreas de valor agrícola*, (SREP-A), para que los terrenos con valor agrícola o pecuario, con actividades presentes o potenciales, se protejan y puedan dedicarse a las actividades agrícolas. También, *Áreas de valor de paisaje*, (SREP-P), para proteger los terrenos rústicos que tienen un valor de paisaje y *Áreas de valor hídrico*, (SREP-H) para proteger los terrenos designados como rústicos que tienen un valor hídrico especial por estar asociadas a los embalses, así como a los ríos principales y las zonas de captación.

Una cuenca hidrográfica es un sistema integrado con funciones ecológicas que interdependientes unas de otras. Otorgarle un valor territorial a un polígono específico se puede considerar como una fragmentación de la totalidad de las posibilidades de gestión integrada de los ecosistemas de la cuenca para prestar servicios. En el plano social y cultural se puede interpretar como si las áreas que no tienen esa clasificación no deberían ser vistas con la capacidad de prestar el servicio. Este tema puede ser particularmente peligroso a la hora de educar a la ciudadanía sobre el valor de los recursos de la cuenca.

Las categorías mencionadas pueden dar lugar a conflictos al momento de considerar los ecosistemas como proveedores de diversos servicios (MA, 2005). La separación de polígonos espaciales para estimar los valores hídrico, ecológico, de paisaje u otros, por ejemplo, de los bosques u otros ecosistemas, puede perder de vista el manejo de otros servicios que esos ecosistemas pueden proveer como, por ejemplo, el control de erosión, mitigación de inundaciones, entre otros. Una gestión integrada de los ecosistemas de la cuenca hidrográfica puede identificar muchos

más beneficios para la comunidad que gestionar polígonos aislados, ya que esta segunda opción puede conducir a un acercamiento confuso y poco acertado para la planificación sostenible (Tammi, *et al*, 2016). Por lo cual, la sectorización de un área para clasificar particularmente un valor hídrico o ecológico en el territorio puede ocasionar conflictos para la preservación de determinados valores y funciones (Williams & Brown, 2016).

En general, se considera que esas áreas estarán presentando un servicio prioritario en el territorio, por ejemplo, en el caso de SREP-A (Agrícola), prestará un servicio de aprovisionamiento (MA, 2005). Desde ese punto de vista, en esta tesis se ha demostrado que la cuenca hidrográfica del Río Gurabo/Valenciano, provee otros servicios importantes como el suministro de agua y el control de erosión para el embalse Carraízo. La ordenación territorial tendría que considerar estos criterios de igual manera y planificar para extraer beneficios de los ecosistemas en consideración y función del conjunto de servicios prioritarios.

5. Conclusión

Evaluaciones como la que se presenta en este trabajo son adecuadas cuando se planifican nuevas actividades o cuando se evalúa la sostenibilidad ecológica en una escala territorial amplia. El llevar a cabo este tipo de evaluaciones permite levantar información importante que debe ser tomada en consideración como una variable de peso dentro de otras muchas cuando se pretende tomar decisiones sobre el territorio. Contar con evaluaciones de los diversos servicios prestados por los ecosistemas presentes es un elemento que debe ser obligatorio en la planificación del territorio (Prestamburgo *et al*, 2016). La sostenibilidad de los usos humanos, también en la escala territorial debe considerar varias dimensiones y componentes (véase Capítulo III), al diseñar escenarios de nuevos mosaicos territoriales. Hay que tomar en consideración que existen funciones irremplazables por las capacidades del ser humano y estas son provistas por los ecosistemas.

El estudio de los servicios de los ecosistemas para la ordenación territorial está siendo tomado en consideración para la toma de decisiones. Hoy día existen análisis que ofrecen herramientas para evaluar servicios concretos en distintos tipos de ecosistemas, entre estos sistemas urbanos y cuencas hidrográficas (Gómez-Baggethun & Barton, 2012; De la Barrera *et al*, 2016; McPhearson *et al*, 2014; Haase *et al*, 2014; Grêt-Regamey, 2016).

5.1. Líneas de estudio futuras

- Establecer el valor económico de la extracción del nuevo sedimento depositado en el embalse a consecuencia del cambio en la cubierta vegetal.
- Estudio de otros beneficios que tiene el mantenimiento de la cubierta vegetal como, por ejemplo, la mitigación de inundaciones o el suministro de flujos de agua.
- Estudiar cuales serían los conflictos de intereses (trade-offs) entre otros servicios de los ecosistemas en diferentes escenarios. Por ejemplo, como se afectaría la provisión de alimentos (por añadir más terreno agrícola) y los servicios culturales (turismo, actividades de recreo o experiencia espiritual).
- Integrar el análisis de los ecosistemas como proveedores de servicios, en los planes de ordenación del territorio en Puerto Rico.
- Establecer alternativas de sistemas producción agrícola que mitiguen el posible daño a los servicios de los ecosistemas naturales, en aquellas zonas donde sea posible su práctica, a la vez que contribuyan a los objetivos de seguridad alimentaria de Puerto Rico.

6. Bibliografía

- Altieri, M.A. and P.M. Rosset, 1995. Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies* 50:165-185
- Balmford, A., Fisher, R. Green, ...Rodriguez, L. 2011. Bringing Ecosystem Services into the Real World: An Operational Framework for Assessing the Economic Consequences of Losing Wild Nature. *Environmental and Resource Economics*. 48:161-75.
- Barral M., Maceira H, 2010. Evaluación ambiental estratégica del ordenamiento Territorial: Un estudio de caso para el partido de Balcarce sobre el análisis de servicios ecosistémicos. *Servicios ecosistémicos en Argentina* P.443 http://www.agro.uba.ar/users/paruelo/libros/Laterraetal_ValoracionServEcosistemicos.pdf
- Brea J. D & Balocchi, F 2010. Proceso de erosión - sedimentación en cuencas y causas. *Documento Técnico N° 22 Vol 1*. PHI-VII
- Chicharro V., 2007. Estudio de la evolución de las pérdidas de suelo en el incendio de Riba de Saelices (Guadalajara). Aplicación y análisis comparativo de los modelos USLE y RUSLE. *Trabajo fin de carrera en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 146 p.
- Daily, G.C. 1997. Valuing and safeguarding Earth's life support systems. *Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. In G. Daily, editor Island Press, Washington, D.C pp 365-374
- De Groot, R. 1992. Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning. *Management and Decision Making*. Wolters-Noordhoff. Groningen.
- De la Barrera, F., Rubio, P., Banzhaf, E. 2016. The value of vegetation cover for ecosystem services in the suburban context. *Urban Forestry & Urban Greening* 16:110-122
- Desmet, P. , Govers, G 1996. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS - factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 51, n. 5:427-433.
- Devauchelle, O. and Josserand, C. and Lagrée, P.Y. and Zaleski, S. 2007. Morphodynamic modeling of erodible laminar channels. *Physical Review E*, 76 5, 56318

- Dialogo UPR 2015. Escasez de agua en Puerto Rico: vínculos entre la mala planificación y la sequía. *Prensa Universidad de Puerto Rico*. Recinto de Río Piedras. En línea <http://www.uprrp.edu/?p=4649>.
- [DRNA] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, 2008. *Plan Integral de Recursos de Agua*. http://www.recursosaguapuertorico.com/CAPITULO_VI_ABRIL2008.pdf
- FAO, 2015. El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. FAO 2015 I4373S/1/02.15. www.fao.org/soils-2015
- FAO, FIDA, PMA, 2016. Seguimiento de la seguridad alimentaria y la nutrición en apoyo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: Balance y perspectivas. Roma, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i6188s.pdf>
- Fontana, V., Radtke, A., Bossi Fedrigotti, V., Tappeiner, U., Tasser, E., Zerbe, S., & Buchholz, T. 2013. Comparing land-use alternatives: using the ecosystem services concept to define a multi-criteria decision analysis. *Ecological Economics*. 93:128–136.
- Foster G.R., 1982. Modeling the erosion process. In Hydrologic modeling of small Watersheds. C T Haan *et al*, eds, *ASAE* Chapter 8: 297–380.
- Fisher B., Turner R.K., 2008. Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141: 1167-1169.
- Francesconi, R., Martínez, I., Díaz, P., 2014. Bienes y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión de áreas urbanas consolidadas. *Territorios*. 30:191-18. doi: [dx.doi.org/10.12804/territ30.2014.09](https://doi.org/10.12804/territ30.2014.09)
- Frank, S., Fürst, C., Witt, A., 2014. Making use of the ecosystem services concept in regional planning—trade-offs from reducing water erosion. *Landscape Ecology*. 29:1377–1391. DOI 10.1007/s10980-014- 9992-3.
- Haan, H. P., Johnson H., Brakensiek D., 1982. Hydrologic modeling of small watersheds. *ASAE*. Monograph No. 5. ISBN 10: 0916150445
- Ganasri, B., Ramesh, H., 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, in press. DOI:10.1016/j.gsf.2015.10.007.

- Geneletti, D., 2008. Incorporating biodiversity assets in spatial planning: methodological proposal and development of a planning support system. *Landscape and Urban Planning*. 84(3-4):252-265.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.08.005>
- Gómez-Baggethun B., 2012. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*. 86: 235-245
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Gómez Orea, D., 2002. Ordenación territorial. Ediciones Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española.
- Gómez Sal, A. 2004. Sostenibilidad ecológica: espacios y oportunidades para un reto inaplazable. *Quórum*. 10:23-43, Universidad de Alcalá, Madrid.
- Gould, W.A., C. Alarcón, B. Fevold, M.E.... Ventosa E, 2008. The Puerto Rico Gap Analysis Project. Volume 1: *Land cover, vertebrate species distributions, and land stewardship*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR. 165 p.
- Grêt-Regamey, A., 2016. Integrating ecosystem services into spatial planning—A spatial decision support tool. *Landscape Urban Plan*. In press.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.003>
- Haase, D., Frantzeskaki, N., & Elmqvist, T. 2014. *Ecosystem Services in Urban Landscapes: Practical Applications and Governance Implications*. *Ambio*, 43(4):407-412.
<http://doi.org/10.1007/s13280-014-0503-1>
- Hein L, van Koppen K., de Groot R., van Ierland E. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*. 57:209 - 228. DOI:10.1016/j.ecolecon.2005.04.005
- Kareiva, P., Watts, S. McDonald, R., Boucher, T. 2007. Domesticated nature: Shaping Landscapes and Ecosystems for Human Welfare. *Science*, 316: 1866-1869. DOI: 10.1126/science.1140170
- Lin H S, Kogelmann W, Walker C., 2006. Soil moisture patterns in a forested catchment: a hydrogeological perspective. *Geoderma*, 131: 345-368.
- Margrin G. 2015. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Euroclima. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). LC/W.692

- MA 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC (2005), p. 137
- Martínez Salvador, A., 2015. Estimación de aportes sedimentarios a embalses de pequeñas cuencas mediterráneas mediante GeoWEPP. Ensayo en la cuenca vertiente del río Mula al embalse de la Cierva (cuenca del río Segura). *Limnetica*, 34 (1): 41-56
- McCool, D., Brown L., Foster G., Mutchler C., and Meyer L. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE* 30(5): 1387-1396.
- McPhearson, T., Hamstead, Z. A., & Kremer, P. 2014. Urban Ecosystem Services for Resilience Planning and Management in New York City. *Ambio*, 43(4):502-515. <http://doi.org/10.1007/s13280-014-0509-8>
- Meyerson, L.A., Baron, J., Melillo, J.M., Naiman, R.J., ... S.W., Sala, O.E. 2005. Aggregate Measures of Ecosystem Services: Can We The the Pulse of Nature?. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 3(1):56-59.
- Myers, N., 1996. Environmental services of biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, no. 93: 2764-2769. [http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0056:AMOESC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0056:AMOESC]2.0.CO;2)
- Navarro Gómez, A., Ruiz Salgado, A. 2016. La Importancia Social del Medio Ambiente y de la Biodiversidad. Asociación de Fundaciones para la Conservación de la Naturaleza y Fundación Biodiversidad – Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Burgos. 28 pág.
- North, D. 1990. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge Univ. Press, 1990. ISBN-13: 978-0521397346
- [NRCS] Natural Resource Conservation Service. US Department of Agriculture. 1995a. *Revised Universal Soil Loss Equation: Caribbean Area*. San Juan, Puerto Rico.
- [NRCS] Natural Resource Conservation Service. US Department of Agriculture. 1995b. *Carraizo Lake Watershed River Basin Study*. San Juan, Puerto Rico.
- Otalvaro, M. v., Vazques, L. M., 2004. Métodos para determinar la recarga en acuíferos. Medellín : Universidad Nacional-Medellin .

- Pagiola, S., Agostini P., Gobbi J., ... Ruíz J.P.. 2004. Paying for biodiversity conservation services in agricultural landscapes. *Environment Department*. Paper No.96, Washington: World Bank.
- Prestamburgo, S. Premrù, T. Secondo, G. 2016. Urban Environment and Nature. A Methodological Proposal for Spaces' Reconnection in an Ecosystem Function. *Sustainability*. 8:407.
- Quiñones, F. 2012. Hidrología del valle de Caguas a Juncos. *Recursos de agua de Puerto Rico*. <http://www.recursosaguapuertorico.com/Caguas-Juncos.html>
- Ruckelshaus, M., McKenzie, E., Tallis, Bernhardt, J. 2015. Notes from the field: Lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. *Ecological Economics*, 115:11–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.07.009>
- Sukhdev, P., Wittmer, H., Miller, D. 2014. La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB): desafíos y respuestas. Libro editado por D. Helm y C. Hepburn, *Nature in the Balance: the Economics of Biodiversity (La naturaleza en equilibrio: la economía de la biodiversidad)* Oxford: Oxford University Press.
- Tamayo E., 2014. Importancia de la valoración de los servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones. *Revista Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*. CAS. Vo.1, No.1
- Tammi, I., Mustajärvi K., Rasinmäki J. 2016. Integrating spatial valuation of ecosystem services into regional planning and development. *Ecosystem Services*. In press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.008>
- TEEB, 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar, London and Washington D.C., Earthscan.
- TEEB, 2012. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in Local and Regional Policy and Management*. Edited by Heidi Wittmer and Haripriya Gundimeda. Earthscan, London and Washington.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D., 1978. Predicting rain/all erosion losses. *USDA Agr. Res. Servo Handbook*, 537.

Williams B., Brown E. 2016. Ecological integrity assessment as a metric of biodiversity: are we measuring what we say we are?. *Biodivers Conserv* 25:1011-1035.

Zeme S., Entraigas I., Varni M. 2006. Análisis de los servicios ecosistémicos en un pastizal natural de la Pampa deprimida Bonaerense. *Contribuciones Científicas GEA*. 27:161-174

Capítulo V. Definición de modelos de agroecosistemas para la provisión de productos básicos en la región centro-sur oriental de Puerto Rico.



Resumen

Puerto Rico, al ser una Isla tropical, alberga una capacidad importante de fertilidad agraria. Históricamente fue un icono caribeño en la siembra de productos como la caña de azúcar, tabaco, café, entre muchos otros. Sin embargo, por razones histórico-políticas se abandonó la agricultura y actualmente no tiene empleada su capacidad agrícola necesaria para abastecer la demanda local, dependiendo de suministros importados. En este trabajo se ensaya una metodología en el Sistema de Información Geográfica (SIG) para generar agroecosistemas a través de la determinación del grado de adecuación territorial para 10 especies que son parte de la dieta común del puertorriqueño. Al generar agroecosistemas en la región que comprende mayormente pastizales y bosques secundarios entre zonas rurales-urbanas en el centro-sur oriental de Puerto Rico, se refuerzan también los servicios de los ecosistemas de regulación y culturales. El análisis permitió obtener un modelo de ocupación óptima de las especies tomando en cuenta aspectos tanto naturales como socio-culturales para definir un modelo agroecosistémico coherente en la región.

Abstract

Puerto Rico, being a tropical island, has an important capacity of agricultural fertility. Historically it was a Caribbean icon in the sowing of products like the sugar cane, tobacco, among many others. However, for historical-political reasons, agriculture was abandoned and at present, it does not have the agricultural capacity needed to supply local demand, depending on imported supplies. In this work we test a methodology in the Geographic Information System (GIS), to generate agro-ecosystems by determining the degree of territorial adequacy for 10 species that are part of the common diet in Puerto Rico. The development of agroecosystems in the region, which mainly comprises grasslands and secondary forests between rural and urban areas in the south-central eastern part of Puerto Rico, also reinforces the regulation and cultural services from the ecosystems. The analysis allowed to obtain a model of optimal occupation of the species taking into account both natural and socio-cultural aspects to define a coherent agro-eco system model in the region.

Palabras clave: *Agroecosistemas, servicios de los ecosistemas, SIG, seguridad alimentaria*

1. Introducción

1.1. Puerto Rico y su producción agrícola

Una isla que recibe el 85% de los alimentos en importaciones extranjeras está destinada a afrontar problemas de seguridad alimentaria en algún momento de su historia. Así queda establecido en la tesis doctoral (Comas, 2009) titulada *“Vulnerabilidad de las cadenas de suministros, el cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación: El caso de las cadenas de suministros de alimento de Puerto Rico”* donde se investigó el contexto histórico que dio paso a la compleja situación actual, en lo referente a provisión de alimentos en el país. Comas expone que a partir de la década de 1950, la industrialización fue el modelo económico que se implantó en la Isla, lo cual provocó la disminución en la producción agrícola, causando que ese sector aportara menos de 2% al Producto Nacional Bruto a comienzos de siglo XXI. La superficie de Puerto Rico es de 9.104 km² (910.400 ha), de estas, 409.837 ha están consideradas como suelos con valor agrícola, aunque solo 219.082 ha están siendo utilizadas con dicho fin. Una pequeña proporción de las mismas (35.016 ha) se consideran “terrenos agrícolas protegidos” (Medina & Castro, 2008; NASS, 2008). Si se tiene en cuenta que la población de Puerto Rico es de más de 3,7 millones de habitantes, la necesidad mínima teórica de tierra arable para proveer seguridad alimentaria serían 282.924 ha (Engelman & LeRoy, 1995). En el 2012, existían en Puerto Rico 12.630 fincas, lo que representa una reducción del 29% con respecto a 2002 cuando existían 17.659 fincas.

En el trabajo citado, Comas muestra que la provisión de alimentos en Puerto Rico es muy vulnerable. Además de tener un problema de disminución continua de la producción local e incrementar por tanto la dependencia de productos importados, también enfrenta otros problemas que aumentan la fragilidad del suministro de alimentos. Como ejemplo, podemos citar el almacenamiento de los alimentos en EEUU, los miles de kilómetros que habitualmente recorren los alimentos antes de llegar a PR (ya que se trata de productos que a su vez, son

importados por los EEUU), los monopolios y oligopolios de importadores, navieros y puertos, la exposición a eventos como los huracanes con posibles efectos catastróficos, la falta de política de seguridad alimentaria, por citar los más importantes. La mayoría de los productos importados pueden entrar dentro de una cadena de suministro de hasta dos años antes de llegar a Puerto Rico (Comas, 2009). Asimismo, la baja producción agrícola y la alta dependencia en alimentos importados causa que la Isla sea más vulnerable a eventos no esperados a nivel mundial (Peck, 2005). Según la Oficina de Estadísticas Agrícolas (2015), a través de los años se ha promovido la importación de los productos agrícolas como una medida para aprovechar las ventajas competitivas que ofrecen los mercados internacionales (Tabla 1).

Tabla 1. Puerto Rico: Importaciones y exportaciones en el renglón agrícola, silvicultura, caza y pesca (en millones de dólares)

Año	Importaciones agrícolas, silvicultura, caza y pesca	Exportaciones agrícolas, silvicultura, caza y pesca	Porcentaje total de las exportaciones sobre las importaciones (%)
2003	446.9	36.9	8.26
2004	460.9	40.6	8.81
2005	496.3	39.0	7.86
2006	492.4	40.7	8.27
2007	459.6	37.2	8.09
2008	519.2	45.6	8.78
2009	521.7	38.9	7.46
2010	511.3	50.3	9.84
2011	539.6	41.2	7.64
2012	530.7	52.7	9.93
2013	548.5	58.2	10.61
2014	572.3	70.6	12.34
2015	570.3	51.6	9.05

Fuente: Exportaciones e importaciones de mercancía registrada por sistema de clasificación industrial de América del Norte (SCIAN): años fiscales. DA, Oficina de Estadísticas Agrícolas, 2016

En el 2012 en Puerto Rico se importaron más del 91,2% de los alimentos que se consumieron (Oficina de Estadísticas Agrícolas, 2015). De hecho se importaron casi todos los cereales, grasas y aceites, azúcar y legumbres. Localmente, lo que se produjo fue: leche, huevos, farináceos, café y muy pocos productos pecuarios como

carne de cerdo, pollo o res. Sin embargo, los productos locales no pueden competir con los precios de productos importados, por lo cual, aunque existe un cierto nivel de producción local, la mayoría de los productos que se consumen son importados.

En el 2012, los productos agrícolas, de silvicultura, caza y pesca representaron solo el 8,8%. En el 2006 muchas de las islas del Caribe presentaban balanzas comerciales negativas de productos agrícolas (FAO, 2006a). En el caso de Puerto Rico, la situación continúa y pone en peligro su seguridad alimentaria frente al panorama mundial de cambios frente a la globalización y el cambio global, incluyendo el cambio climático, degradación de los ecosistemas y la disputa por los recursos.

1.2. Agroecosistemas para la seguridad alimentaria

Ante la eventualidad de una crisis alimentaria es necesario planificar estrategias para asegurar el suministro en los países más vulnerables (MA, 2005; FAO, 2008). Los resultados de la evaluación de los ecosistemas indican que se debe actuar para asegurar los servicios de suministro (FAO, 2007; TEEB, 2015). Debido a la situación de dependencia alimentaria en Puerto Rico, las iniciativas de cultivo de productos para consumo local se hacen cada vez más urgentes. Sin embargo, debido a que la agricultura intensiva se abandonó hace años, en el territorio imperan bosques secundarios maduros (Aide *et al*, 1996) y jóvenes, y pastizales. Volver a una actividad agrícola industrial plantea problemas con las funciones de regulación de los ecosistemas, importantes en un territorio de topografía compleja y densamente poblado. El paisaje puertorriqueño se encuentra definido en la actualidad por ecosistemas con moderada interacción, debido a que la población es mayoritariamente urbana. Una hipotética modificación de los ecosistemas para la agricultura industrial, algunos de ellos con poca resiliencia por ser ecosistemas maduros (Carpenter *et al*, 2001; Thompson *et al*, 2009), podría suponer un deterioro irreversible. Es necesario por ello, que el diseño de agroecosistemas (situados en un entramado de naturaleza) capaces de aportar los productos básicos

es la manera más eficiente de actuar para obtener servicios aprovisionamiento (MA, 2005), manteniendo el funcionamiento y la prestación de otros servicios (Gliessman, 1998; Altieri, 2002).

Un agroecosistema puede definirse como “ecosistema modificado y gestionado por los seres humanos con el objetivo de obtener alimentos, fibra y otros materiales de origen biótico” (Gómez Sal, 2012). El principal reto en el diseño de los agroecosistemas sostenibles es mantener en lo posible las características de un ecosistema natural y al mismo tiempo proveer la cosecha deseable.

Tabla 2 Principios guía para el proceso de diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles (Gliessman, 1998)

<ul style="list-style-type: none">✓ Desplazamiento del manejo de flujo de nutrientes, al manejo de reciclaje de nutrientes, con dependencia creciente en los procesos naturales tales como la fijación biológica de nitrógeno, y las relaciones micorrícicas.✓ Uso de fuentes renovables de energía en lugar de fuentes no renovables.✓ Eliminar el uso de insumos humanos eternos que tienen en el potencial de dañar al ambiente, la salud de los agricultores y trabajadores agrícolas, y/o a los consumidores.✓ Cuando se tenga que agregar materiales al sistema, usar materiales de origen natural en lugar de insumos sintéticos o manufacturados.✓ Manejar las plagas, enfermedades y malezas en lugar de “controlarlas”.✓ Reestablecer las relaciones biológicas que pueden darse naturalmente en la unidad de producción en lugar de reducir las y simplificarlas.✓ Buscar que los modelos de cultivos estén en armonía con el potencial productivo y las limitaciones físicas del paisaje agrícola.✓ Usar una estrategia de adaptación del potencial biológico y genético de las especies animales y vegetales cultivables, a las condiciones ecológicas del lugar de cultivo, más que modificar el sitio de cultivo para satisfacer las necesidades de esas plantas y animales.✓ Valorar mucho más la salud del agroecosistema en su totalidad, que el producto de un sistema de cultivo en particular.✓ Enfatizar la conservación del suelo, agua, energía y los recursos biológicos.✓ Incorporar la idea de la sostenibilidad en el largo plazo, en el diseño y manejo general de sistema.
--

El flujo de energía es manejado para depender menos de insumos no renovables, de modo que exista un balance entre la energía que fluye dentro de sistema y la que abandona el sistema en forma de cosecha (Gliessman, 1998). Agroecosistemas adaptados a las condiciones de Puerto Rico y a la demanda de productos básicos del país, pueden ser un componente importante en la agricultura local, incorporando en su diseño elementos de agricultura tradicional (Álvarez, 2011).

En cuanto a la escala territorial de actuación, dependerá de los objetivos propios de cada estudio. De esta manera, si bien la categoría de mayor nivel (*país*) plantea una clasificación de agroecosistemas útil para estudios y estadísticas referentes al estado de la nación, la categoría “*región*” incluye rasgos geográficos definidos y puede ser equivalente a conceptos como provincia geográfica, consorcios municipales o departamento. La idea de *paisaje* podría sustituirse por cuenca, subcuenca o zona homogénea, un espacio definido por procesos locales que relacionan las distintas parcelas (parches) del territorio y que el investigador puede seleccionar de acuerdo con los objetivos del estudio. Así, el sistema *finca*, podría ser considerado como un nivel de análisis que a su vez incluye otros componentes más detallados (cultivo, praderas o zonas agroforestales) (Figura1).

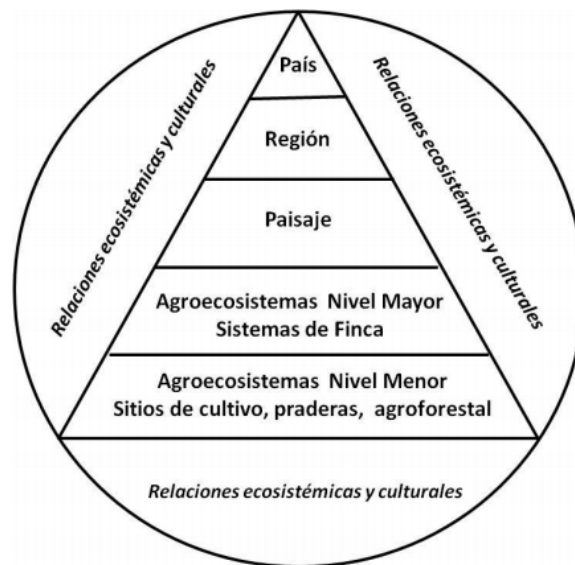


Figura 1 Escalas de análisis de los agroecosistemas (según León, 2012)

En el presente estudio, adoptamos en primer lugar la escala de *región*, tomando en cuenta los elementos considerados y explicados en el Capítulo II de esta memoria. Según la situación económica de la Isla y el panorama de abastecimiento mencionado, es urgente establecer estrategias de producción agrícola. Éstas, deben ser coherentes con las propuestas territoriales ya existentes, en especial sobre conservación de la naturaleza, y tomar en cuenta la fragilidad de los ecosistemas regionales (Costanza *et al*, 1997; Daily *et al*, 1997; De Leo, 1997). De hecho, cada propuesta de desarrollo agrícola deberá evaluarse ya que la generación de espacios agro-ecosistémicos puede competir con la prestación de otros servicios provistos por los ecosistemas presentes (Kareiva, 2007). Las características de los ecosistemas naturales resultan oportunas para comprender y proponer la estructura en el diseño de nuevos agroecosistemas y su funcionamiento. De este modo, los ecosistemas y agroecosistemas deben mantener varias similitudes, como por ejemplo, la inclusión de diferentes niveles tróficos, en donde se fija, transforma y transfiere la energía, (se considera el manejo de animales domésticos y los procesos de recuperación de la fertilidad del suelo); la síntesis y degradación de la materia orgánica; la asimilación y degradación de nutrientes; entradas y salidas de diferentes elementos; la presentación de diferentes formas de diversidad biológica; la inserción de procesos de sucesión, entre otros (Greco *et al*, 2015). Sin embargo, el hecho de estar sometidos a una serie de alteraciones características como labores agrícolas, fertilización, riego, extracción periódica de biomasa, reducción de la diversidad biológica, aplicación de pesticidas, fragmentación del paisaje, determina que algunos de sus rasgos estructurales, así como el ritmo y naturaleza de algunos procesos sean distintos a los ecosistemas naturales, donde no existe intervención humana.

1.3. Posibles disservicios de la agricultura

La agricultura ha sido una de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad debido a la conversión de hábitats naturales como bosques y

humedales en tierras de cultivo (Green *et al.*, 2005). Además, el incremento de la eficiencia de la agricultura (la llamada “revolución verde”) ha provocado la reducción del hábitat de muchas especies. Entre los factores relacionados con esta situación se encuentran el uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos; la creciente homogeneidad del paisaje por la especialización a escala regional y de finca; el drenaje de humedales naturales; la pérdida zonas periféricas no cultivadas; y la reducción de los períodos de barbecho en sistemas de rotación de cultivos (Robinson & Sutherland, 2002; Benton *et al.*, 2003; Wilson, 2014). Pero, además, la intensificación de la agricultura ha sido clave en la degradación de los servicios ecosistémicos, ha incrementado la proporción de gases de efecto invernadero en la atmosfera y a la vez reducido la capacidad de almacenamiento de carbono (UNEP, 2010). El mayor reto consiste en comprender cómo lidiar con la necesidad de elevar la producción de alimentos y paralelamente minimizar los impactos negativos sobre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la sociedad. El incremento de la producción de alimentos a escala global debe combinar la producción en las tierras ya cultivadas y el incremento del área agrícola para los productos de mayor demanda (Pretty *et al.*, 2011).

Adoptando como referencia los tres tipos de servicios para el bienestar humano que evaluó el proyecto Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: de abastecimiento, de regulación y culturales (MA, 2005; EME-España, 2012), es evidente que la intensificación de la agricultura debilita los servicios de regulación (funcionamiento de procesos ecológicos) y los culturales (educación, conocimientos sobre los recursos, identidad, ocio, etc.). Esto pone de relieve conflictos de fondo (*trade offs*) en la capacidad de los agroecosistemas de tipo industrial para aportar estos dos grupos de servicios. Incluso, se ha atribuido a esta agricultura la capacidad de destruir servicios o socavar la opción de que puedan prestarse los distintos tipos de forma más o menos armónica (Gómez Sal, 2014). Se puede señalar entonces las disfunciones de la agricultura, o lo que se ha llamado también “dis-servicios” (Power, 2010).

Figura 2 Agroecosistemas como prestadores de servicios vs la agricultura industrial*

Servicios para el Bienestar Humano de los agroecosistemas (1). Escala (F: finca; P: paisaje)	Agricultura industrial (2). <i>En cursiva se señalan disservicios</i>
SERVICIOS DE REGULACIÓN. Evaluados: 8; P: 4; F: 0; Ambas escalas: 4	Disservicios de la Agricultura industrial: 8 (100%)
Agua, provisión y calidad (P) Control de plagas (F, P) Polinización (P) Recuperación y ciclo de nutrientes (F, P) Conservación del suelo: estructura y fertilidad (F, P) Biodiversidad (P) Regulación de perturbaciones naturales (P) Almacenamiento de Carbono (secuestro) (F, P)	<i>Apropiación, contaminación.</i> Eficacia creciente en el regadío, goteo etc., soluciones individuales a escala de finca. <i>Pesticidas resistentes, tóxicos.</i> Eficacia en el control biológico específico, a escala de finca <i>Muerte de polinizadores por pesticidas</i> <i>Lavado de nutrientes</i> <i>Erosión</i> <i>Pérdida de biodiversidad</i> <i>Acumulación de sedimentos, erosión, deforestación</i> <i>Emisión de GEI</i>
SERVICIOS CULTURALES. Evaluados: 6; P: 4; F: 0; Ambas escalas: 2	Disservicios de la Agricultura industrial: 2 (33%)
Conocimiento tradicional (P) Educación ambiental (P, F) Actividades recreativas, turismo cultural y de naturaleza (P) Valor estético y espiritual (P) Identidad cultural y sentido pertenencia (P) Contribución al conocimiento e investigación (P, F)	<i>Pérdida de saberes adaptados sobre los recursos, también de prácticas comunales.</i> Solo tecnológica, especializada, falta visión holista No apropiado Escaso <i>Perdida de la memoria sobre el paisaje (sus contenidos, sentido, recursos)</i> Parcial, olvida aspectos sociales, culturales, etc.
SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO. Evaluados: 7; P: 3; F: 1; Ambas escalas: 4	Disservicios de la Agricultura industrial: 6 (85%)
Alimentos (F) Agua para consumo y en la naturaleza (P) Fibras, madera, etc. Materiales de origen biótico (F, P) Minerales, sal (materiales de origen abiótico) (P) Energías renovables, bioenergía (F, P) Medicinas naturales (F, P) Nuevas variedades y razas (F, P) Espacio y hábitat. Opción para vida alternativa (P)	Abundancia, especialización. <i>Perdida de agrobiodiversidad</i> <i>Apropiación, contaminación,</i> <i>Degradación de ecosistemas.</i> Abundancia, especialización. <i>Perdida de agrobiodiversidad</i> Apropiación del recurso y riesgo de degradación del paisaje Especializado. <i>Perdida de agrobiodiversidad</i> <i>Perdida de agrobiodiversidad y diversidad natural</i> <i>Perdida de agrobiodiversidad</i> En general no lo considera.

Tabla Servicios para el Bienestar Humano de los agroecosistemas, su relación con la escala espacial y con los tipos de agricultura. (1) Visión que adopta el proyecto MA, 2000 y EME, 2012, no son servicios meramente ambientales sino interpretados como un refuerzo o condición para el bienestar humano en las sociedades actuales. Se indica la escala espacial y de gestión adecuada para la expresión del servicio y también para su evaluación (F: finca; P: paisaje). (2) En cursiva se indican disservicios de la agricultura industrial (destrucción del servicio y deterioro de la capacidad del agroecosistema para aportarlo). La contribución de esta agricultura a la prestación de servicios se limita en general a los que se expresan en la escala de finca (las soluciones para del deterioro que esta práctica provoca o las dirigidas a aumentar la eficacia productiva; son especializadas e individuales); los servicios que dependen de escalas superiores (paisaje, comunidad rural, Etc.) son los más afectados. La tabla refleja una evaluación sintética a partir de numerosas evidencias (MA, 2005; Power, 2010; EME, 2012), si bien el resultado puede ser distinto en casos particulares.

*Incorporado de Gómez Sal (2014)

Por otro lado, un tipo de agricultura capaz de manejar los ecosistemas respetando su estructura y función, y estableciendo un límite de extracción de recursos, representa la opción coherente para alcanzar una relación viable entre los sistemas ecológicos y los seres humanos. Los ecosistemas agrarios bien manejados pueden representar más ventajas económicas cuando se permite su renovación natural en un estado de integridad funcional. Esto debido a que en la agricultura con criterios ecológicos limita las posibilidades de degradación. Por el contrario, en

el caso de la agricultura intensiva, las funciones de regulación naturales serían substituidas por elementos artificiales o tecnológicos (ej. mayor uso de fertilizantes, mayor consumo energético), lo que incrementaría los costes de manejo y daría paso a la pérdida de la capacidad de los ecosistemas de prestar estos servicios.

1.4. Objetivo

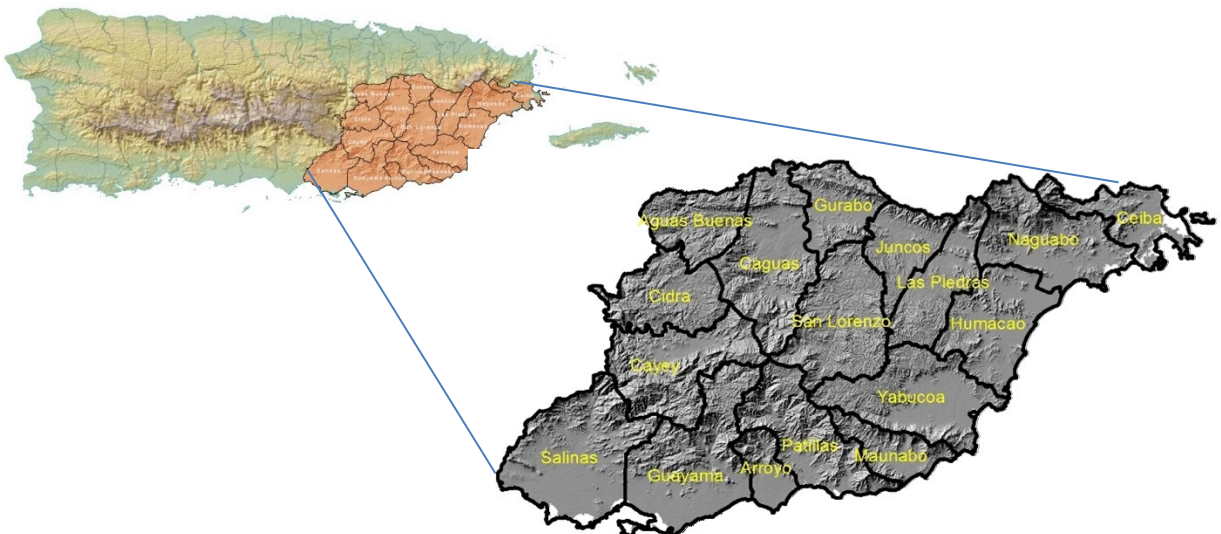
El principal objetivo de este capítulo es proponer y evaluar nuevos modelos de agroecosistemas en áreas con poca o ninguna actividad agraria en la región centro sur-oriental de Puerto Rico, dirigidos a alcanzar producción agrícola sostenible. El modelo parte de la evaluación de diez especies vegetales importantes en la dieta puertorriqueña. La propuesta incluye el requisito de identificar los principales grupos de ecosistemas presentes, los servicios que prestan, los usos del suelo actuales y las condiciones edafo-climáticas más aptas para las especies evaluadas.

2. Métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende de 16 municipios de la región sur oriental: Naguabo, Ceiba, Las Piedras, Juncos, Gurabo, Humacao, Yabucoa, Maunabo, Patillas, Arroyo, Guayama, Salinas, Cayey, Cidra, Aguas Buenas, Caguas y San Lorenzo.

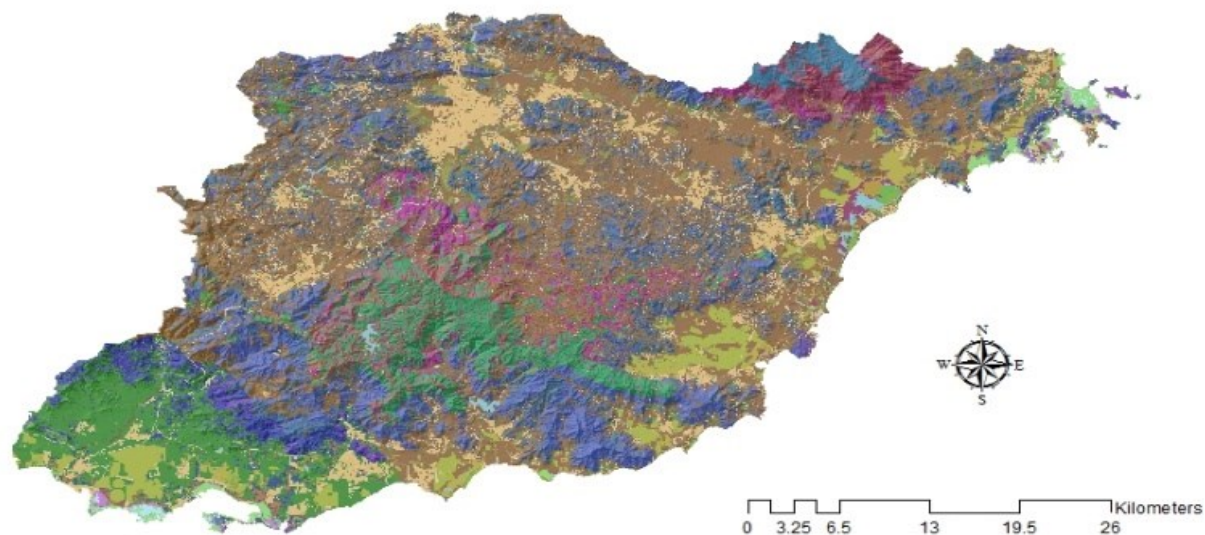
Figura 3 Área de estudio



Esta zona tiene varios llanos con designación de “Reserva Agrícola” por el Gobierno de Puerto Rico, estas son la reserva agrícola de Yabucoa (2.821 ha), la reserva agrícola de Maunabo (439 ha) y la reserva de la Universidad de Puerto Rico en Gurabo (200 ha). En los fértiles llanos del sur de Salinas-Guayama existe agricultura en fincas privadas de uso comercial, también en la región hay algunos parches de siembras privadas de uso doméstico (DA, 2015). Aunque el territorio con la designación legal de reserva agrícola abarca unas 3.460 ha, solo una pequeña parte está siendo actualmente utilizada. Según el Departamento de Agricultura de PR (DA), las siembras en el área son básicamente plátano y banano. También en esas áreas hay algunas fincas con ganadería para carne y leche.

Por otro lado, el área de estudio comprende una importante variedad de tipos generales de ecosistemas (Fig. 4) que serán tomados en consideración para el cálculo del área potencial teórica para cada una de las especies agrícolas seleccionadas y posteriormente para la estimación de los servicios ecosistémicos actuales.

Figura 4 Cubierta territorial del área de estudio y tipos de ecosistemas presentes (Gould, 2008)



Ecosistemas presentes en el área de estudio

- | | | |
|--|---|--|
| Agua fresca | Bosque primario maduro Tabonuco | Bosque secundarios jóvenes seco bajo |
| Agua salada | Bosque primario maduro húmedo nuboso | Humedales |
| Árboles y arbustos aluviales húmedos montana | Bosque riverinos bajos semi húmedos | Humedales no salinos inundados estacionales |
| Árboles y arbustos bajos semi húmedos | Bosque riverinos tierras bajas secas | Humedales salinos inundados estacionales |
| Árboles y arbustos riverinos secos bajos | Bosque sec aluvial maduro semideciduo seco bajo | Pastos y pastizales secos |
| Árboles y arbustos secos bajos | Bosque sec carsico maduro semideciduo seco bajo | Pastos y pastizales semi húmedo |
| Arbustos carsicos secos tierras bajas | Bosque sec jóvenes aluvial semi húmedo bajo | Plantación café activa y abandonada húmedo montana |
| Arbustos y árboles medianos secos carsicos bajos | Bosque sec jóvenes semi húmedo bajo | Plantaciones café abandonados bajos semi húmedos |
| Arbustos y árboles medianos secos tierras bajas | Bosque secundario aluvial maduro húmedo montana | Plantaciones de palmas, agricultura y plantaciones |
| Arbustos y árboles montana húmedo | Bosque secundario aluvial maduro semi húmedo bajo | Playas |
| Arbustos y árboles semi húmedos bajos | Bosque secundario maduro húmedo montana | Precipicios rocosos |
| Barreras Artificiales | Bosque secundario maduro semi húmedo bajo | Sales y marismas |
| Barreras naturales y riverinas | Bosque secundario maduro semideciduo seco bajo | Siembras |
| Bosque manglar | Bosque secundarios jóvenes aluvial húmedo montana | Urbano alto |
| Bosque pantano Pterocarpus | Bosque secundarios jóvenes aluvial seco bajo | Urbano bajo |
| Bosque primario maduro Palma de Sierra | Bosque secundarios jóvenes carsico seco bajo | |
| Bosque primario maduro Palo Colorado | Bosque secundarios jóvenes húmedo montana | |

2.2 Secuencia metodológica

El objetivo de gestión pública se encuentra implícito en la elaboración de todos los capítulos de esta tesis doctoral. En la siguiente tabla se describe cómo la metodología propuesta en este capítulo se integra a una estrategia más general para la definición de nuevos agroecosistemas en la región. La **fase 2** corresponde al ejercicio metodológico aquí presentado.

Tabla 3 Estrategia para la creación de nuevos agroecosistemas regionales

Etapa	Planificación regional para la implementación de nuevos agroecosistemas en áreas sin uso agrícola.
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Decisión de los actores regionales (gobiernos [estatal, regional, local], agricultores, comunidades, empresarios). <ol style="list-style-type: none"> a. Establecimiento gubernamental de una política pública para adoptar el manejo agroecológico como método de producción. b. Planificación de objetivos y alcances de la producción <ol style="list-style-type: none"> i. Mercado a suplir (local, nivel del país, exportación) ii. Selección de especies (para los diferentes mercados, en particular el local)
2	<ol style="list-style-type: none"> 2. Definición de áreas óptimas para las especies seleccionadas <ol style="list-style-type: none"> a. Adecuación edáfica, fisiográfica y climática por especie. b. Cartografía de resultados y combinación de especies en el territorio <ol style="list-style-type: none"> i. Análisis de coincidencia de áreas óptimas, cartografía de la capacidad de acogida del territorio para diferentes especies. ii. Definición de zonas de combinaciones de especies para diseño de agro ecosistemas. c. Exclusión de áreas urbanas, planificadas para expansión y áreas naturales protegidas. d. Análisis de los ecosistemas y sus servicios existentes en el área <ol style="list-style-type: none"> i. Compatibilidad de los servicios de los ecosistemas locales con áreas potenciales para los nuevos agroecosistemas.
3	<ol style="list-style-type: none"> 3. Estudio de la capacidad real de cada ecosistema para ser modificado <ol style="list-style-type: none"> a. Evaluación de las funciones que deben ser conservadas b. Evaluación de las funciones que pueden ser complementadas o sustituidas con las especies cultivables
4	<ol style="list-style-type: none"> 4. Propuesta de diseño de agro ecosistemas <ol style="list-style-type: none"> a. Inclusión de conocimiento local (agroecología tradicional)

5	<p>5. Implementación de diseños agroforestales en los ecosistemas que lo permiten</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Implementación de las medidas de manejo para el agroecosistema diseñado. b. Estrategias de conservación de biodiversidad c. Acceso físico a las fincas (mano de obra y/o equipos de mecanización [cuando así se permita]) d. Tecnología de energía renovable e. Manejo de reciclaje y composta (ej. Biodigestores y compostadores para manejo de excedentes, sobrantes y desecho animal)
---	---

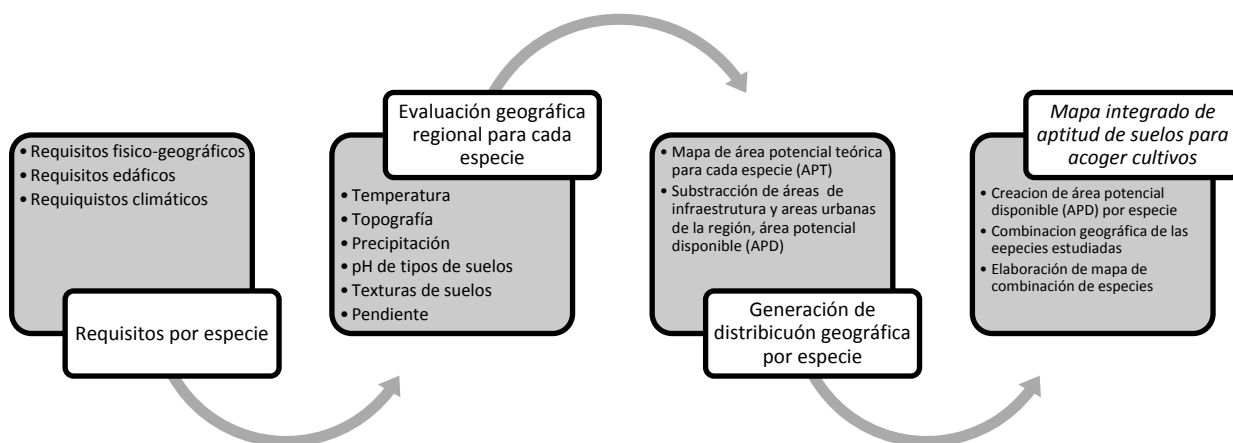
Este esquema metodológico está basado en la generación de adecuación del territorio para el desarrollo de especies agrícolas (Regil García *et al*, 2009). La intención de esta metodología es ensayar un modelo donde se propongan agroecosistemas adecuados, compatibles con sistemas económicamente viables (a través de sistemas económicos convencionales locales), sistemas productivos sostenibles (obtención de productos agrarios), así como mantener los valores y servicios ecosistémicos deseables, mediante el establecimiento de agro-ecosistemas capaces de aportar los servicios ecosistémicos demandados (Gómez Sal, 2013).

2.3 Fases de la metodología para alcanzar el objetivo

Para alcanzar una propuesta regional de varios tipos de agroecosistemas se han diseñado tres fases, la metodología utiliza el sistema de información geográfico (SIG) y sus módulos, así como análisis multivariantes complementarios.

- a. **Fase 1**, aptitud agrícola del territorio/capacidad de acogida para distintos cultivos. Para esta fase se han seleccionado diez especies de consumo en Puerto Rico y se determina un área de potencial teórica (APT) y un área potencial disponible (APD) para cada especie (Fig. 5). Se genera un primer mapa de aptitud del territorio para acoger distintas especies cultivables. También, se realiza un análisis de probabilidad de clases en la herramienta multivariante de ArcGIS, determinadas por la combinación de las especies, identificando sectores de aptitud agrícola.

Figura 5 Gráfico conceptual de la fase primera para generación de áreas de aptitud agrícola en el territorio



- b. **Fase 2**, estimación y análisis de los de los servicios de los ecosistemas presentes en la región para establecer un marco de prestación de servicios que deben ser tomados en consideración para las propuestas.
- c. **Fase 3**, avanzando hacia la suficiencia alimentaria. Análisis de clasificación multivariante aplicado al territorio (la unidad de análisis son cuadrícula de relación, formadas por píxeles de 450 m²), que considere la adecuación de éste para las diferentes especies como variable cuantitativa a analizar. Los resultados son “áreas óptimas” para proponer tipos de agroecosistemas, definidas en función de las especies características de cada grupo de cuadrículas. Se maneja la información de las fases previas para proponer tipos de agroecosistemas, que mantengan en lo posible la prestación de los servicios, aumentando la producción agraria.

2.4 Selección de las especies para ensayo regional y requisitos

En Puerto Rico, la fertilidad del suelo y las condiciones geoclimáticas son adecuadas para sembrar casi cualquier cultivo que prospere en el trópico. Como ya

se ha mencionado, por razones histórico-políticas, se abandonó la agricultura para el comercio y la mayoría de los terrenos volvieron a ser bosques, esta vez de sucesión secundaria.

Sin embargo, muchos puertorriqueños que aprendieron a sembrar con sus padres en una época en la que era necesario cultivar algunos alimentos para poder sostener a la familia, aún continúan sembrando. Estas personas poseen un conocimiento invaluable sobre la agricultura tradicional y el manejo de los suelos locales (Álvarez, 2011). Se hace necesario documentar el conocimiento tradicional empírico del puertorriqueño para asegurar el éxito de las iniciativas de desarrollo sostenible y el diseño de nuevos agroecosistemas locales.

Figura 6 Productos que se mayormente generan en PR



La Fig. 6 muestra los productos que mayormente se cosechan en Puerto Rico en la actualidad, según el Departamento de Agricultura de Puerto Rico. En el área de estudio, se puede apreciar la poca actividad agrícola, resumiéndolo en siembras de

plátanos, ganado de carne y plantas ornamentales. La seguridad alimentaria de la Isla depende del desarrollo de sistemas de producción agrícola en todas sus regiones, basada en agricultura sostenible, con el mayor grado de autonomía respecto a insumos externos.

Para este ejercicio se llevó a cabo la selección de diez especies que son parte de la dieta del puertorriqueño y que históricamente se ha cosechado con éxito en la Isla (Tabla 4). Esta selección es una muestra de categorías de especies de cultivos que se pueden producir localmente. Según el Centro de Recursos Informativos Agrícolas de Puerto Rico (2009), las raíces y tubérculos son alimentos altos en carbohidratos, con un contenido aceptable de fibra dietética, vitamina C (batata, ñame, yuca), provitamina A (batata mameya) y potasio (yautía, apio). Para satisfacer la demanda local, tanto de producto fresco como elaborado, se debe aumentar la producción local.

Las musáceas son productos de diario consumo en Puerto Rico, parte de la dieta habitual, uno de los platos típicos de Puerto Rico (el mofongo) es a base de plátano verde. Otro de los platos típicos de Puerto Rico es el “arroz con gandules”, el gandul es una leguminosa de alta demanda y consumo local. Cereales como el arroz y maíz, se produce muy poco en la Isla, sin embargo, también es de alto consumo, estas especies se pueden producir localmente. Muchos árboles frutales son típicos y nativos de la Isla, el panapén y el aguacate, como las musáceas, son parte fundamental de la dieta puertorriqueña de temporada. Los cítricos y el café también son parte de la gastronomía local y también figuran como productos de alta demanda. A pesar de que estos productos pueden ser producidos localmente y su demanda es alta, la mayoría de los suplidores son extranjeros, los productos llegan a la Isla desde Estados Unidos, Centroamérica y países de extremo oriente.

Además de ser productos de la canasta alimentaria básica del puertorriqueño, todas las especies cultivadas incorporadas en esta evaluación asumen tener un panorama de mercado local favorable.

Tabla 4 Especies seleccionadas

Categorías especies	Nombre común	Nombre científico
Raíces y tubérculos	Ñame	<i>Dioscorea villosa</i>
	Yautía	<i>Xanthosoma violaceum</i>
Musáceas	Plátano verde	<i>Musa acuminata</i>
	Guineo	<i>Musa sapientum</i>
Leguminosa	Gandules	<i>Cajanus cajan</i>
Cereales	Arroz	<i>Oryza sativa</i>
	Maíz	<i>Zea mays</i>
Frutales	Panapén	<i>Artocapus altilis</i>
	Naranja	<i>Citrus sinensis</i>
	Aguacate	<i>Persea americana</i>
	Café	<i>Cofea arabica</i>

Esta muestra es representativa de la variedad de especies cultivables en Puerto Rico que pueden añadirse posteriormente al método ensayado para arrojar resultados más completos, que aporten una mayor diversidad de productos y refuercen el agroecosistema ayudando a ofrecer una amplia gama de bienes y servicios. Además de las categorías aquí representadas, en Puerto Rico hay muchas más que deben ser parte del mosaico agroecosistémico oficialmente diseñado, como las verduras y hortalizas, sistemas agropecuarios, forrajes, ornamentales, sistemas silvopastoriles, silvicultura, entre otros.

Para cada una de las especies se obtuvieron los requisitos edáficos, fisiográficos y climatológicos (Tabla 5) para su posterior evaluación en el SIG.

Tabla 5 Requisitos edáficos, físicoográficos y climatológicos por especie*

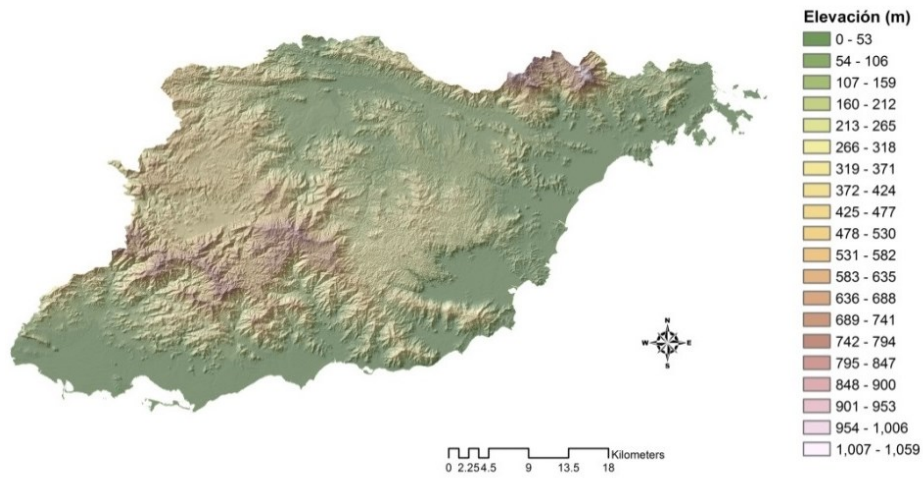
Espece	pH óptimo	Textura	Altitud óptima (msnm)	Pendiente (°)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
<i>Dioscorea villosa</i>	5.5-6.5	Franco arenoso, bien drenados	0-700	<35	26-29	1748-1980
<i>Xanthosoma violaceum</i>	5.5-7.0	Franco, bien drenados	0-600	<30	25-30	1778-2286
<i>Musa acuminata</i>	5.6-6.6	Franco arcillosa, franco arenosa	0-700	<25	20-30	1700 y 2500
<i>Musa sapientum</i>	5.6-6.6	Franco arcillosa, franco arenosa	0-700	<25	20-30	1700 y 2500
<i>Cajanus cajan</i>	6.6-7.0	Arcillosa, franco arenoso o limoso	0- 1,000	<20	20-28	1248-1980
<i>Oryza sativa</i>	5.6-6.8	Arcillosa, franco arenoso o limoso	0-600	<5	20-30	1778-2286
<i>Zea mays</i>	5.5-7.0	Arcillosa, franco arenoso o limoso	0-1,000	<10	20-29	1000-2500
<i>Artocapus altilis</i>	6.1-7.4	Arcillosa, franco arenoso o limoso	100-1,000	<30	21-32	1500-2800
<i>Citrus sinensis</i>	5.5-7.5	Franco, bien drenados	200-1,000	<15	28-30	1524-2032
<i>Persea americana</i>	5.5-6.5	Arciollosos y arenosos	200-800	>10	20-30	1200-3164
<i>Coffea arabica</i>	5.5-6.5	buen drenaje: arenosos	300-800	>10	18-28	2,000-3,000

*Los datos son basados en los Conjuntos Tecnológico de la Universidad de Puerto Rico, Colegio de Ciencias Agrícolas de la Estación Experimental, Río Piedras, PR y estimaciones por referencia de otras Islas del Caribe o zona tropical. Citar algún trabajo, o los docs utilizados, algún experto...

2.4.1 Adquisición de datos y elaboración de modelos cartográficos

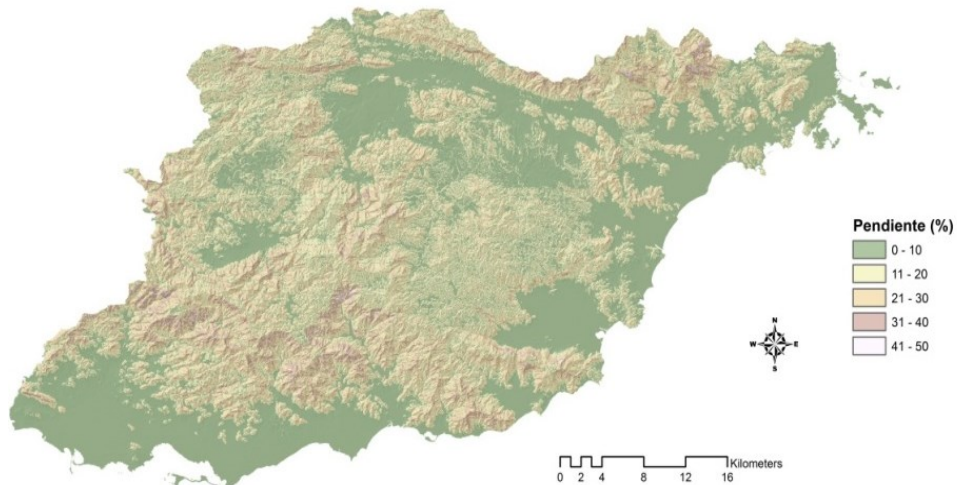
El mapa de elevación fue extraído del Modelo Digital de Elevación (DEM) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Figura 7 Elevación en metros en el área de estudio



El modelo de pendientes utilizado en este ejercicio fue creado a través de la herramienta de análisis espacial en el ArcGIS, desde el Modelo de Elevación Digital.

Figura 8 Porcentaje de las pendientes en el área de estudio



Los mapas de precipitación y temperatura anual promedio se obtuvieron desde la página del “Caribbean Landscape Conservation Cooperative” (Cooperativa de conservación del paisaje del caribe, 2016).

Figura 9 Precipitación anual promedio

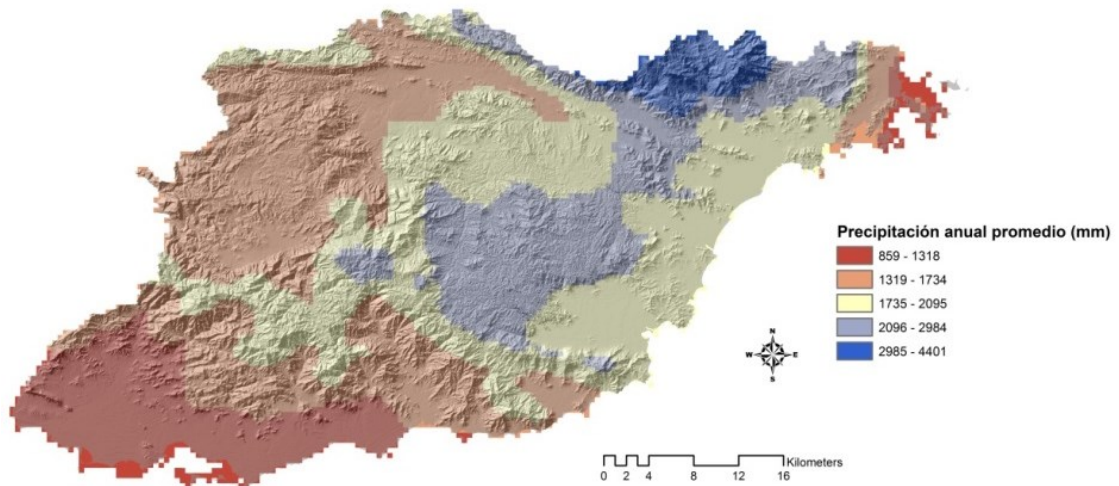
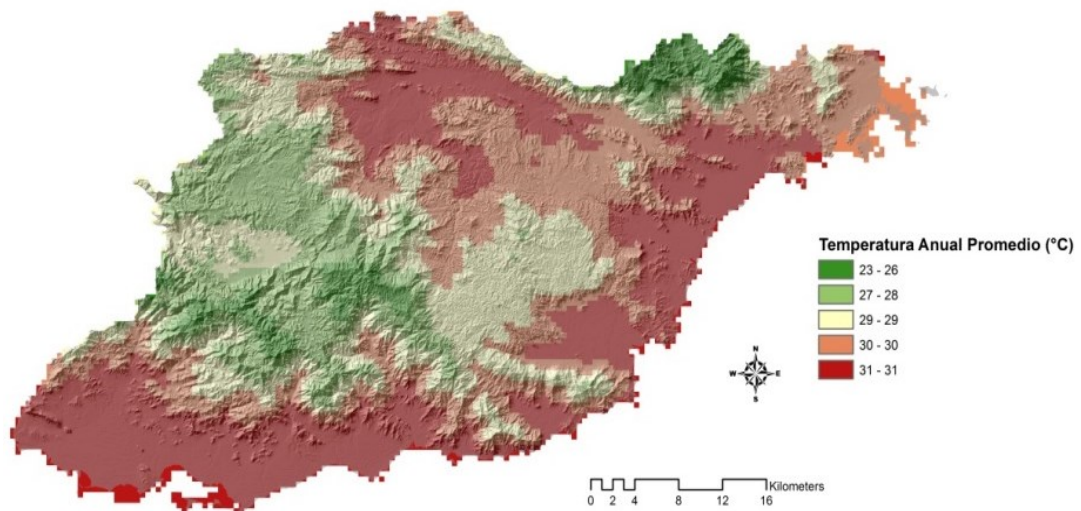
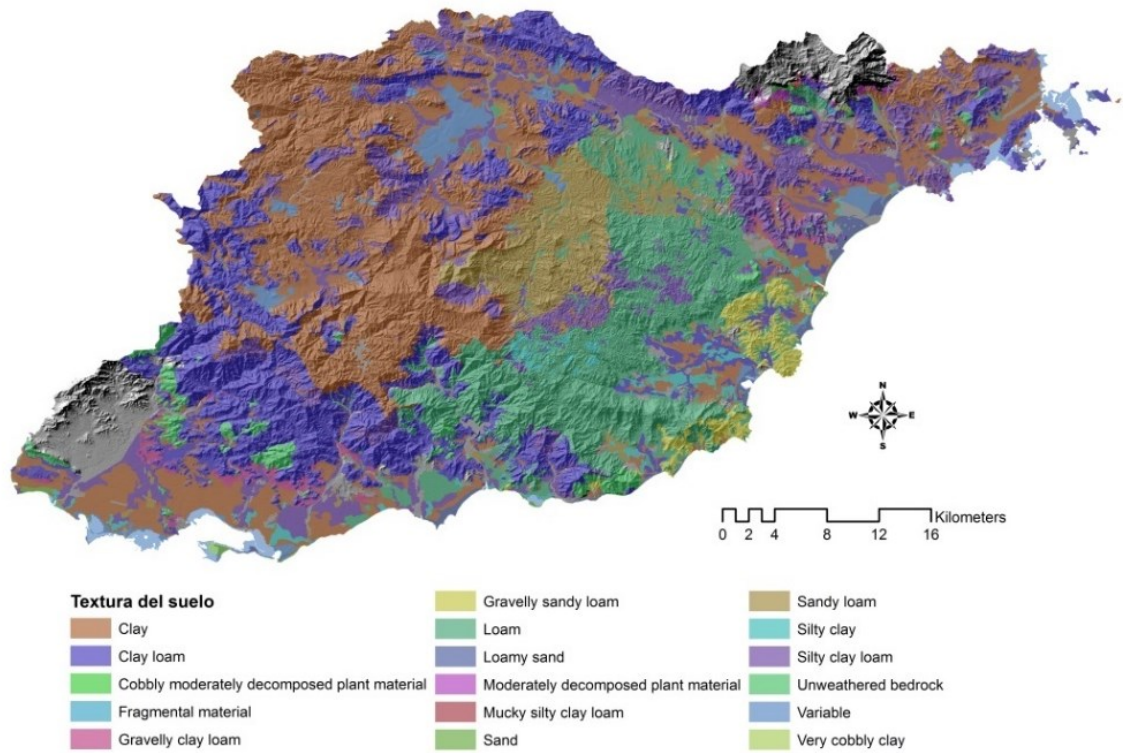


Figura 10 Temperatura anual promedio



La información geográfica de textura de suelos fue generada desde el catastro de suelos (SSURGO) del National Resource Conservation Service (NRCS, 2016) de los Estados Unidos.

Figura 11 Mapa de textura de suelos



3. Resultados y discusión

3.1 Área potencial teórica vs área potencial disponible

Para calcular el área potencial teórica para cada especie se llevó a cabo un ejercicio de clasificación SIG en el programa ArcGIS 10.3 y una serie de secuencias en el “Raster Calculator” de la herramienta de análisis espacial (Spatial Analyst). Primero se creó una base de datos espacial para cada una de las especies donde se

clasificaron diferentes “rasters” conteniendo las condiciones óptimas para cada una de las especies. Se le otorgo valores de 0 y 1 a cada uno de los rásters representativos de las variables para determinar dónde se cumplen las condiciones determinadas para cada una de las especies. Luego se llevó a cabo una sumatoria lineal de todas las capas de SIG para finalmente arrojar los resultados donde valores cercanos o iguales a cinco (5) representan las áreas de mejor aptitud geográfica por especie (áreas donde coinciden valores óptimos para la especie respecto a las cinco variables utilizadas) y cercanas a cero (0) representan las áreas de menor aptitud. Los resultados obtenidos no implican que no sea posible la siembra de estas especies en áreas fuera de estos polígonos, ya que el uso de tecnología puede modificar en parte dichas condiciones. Sin embargo, los costes de producción pueden ser mayores ante la necesidad de recrear la adecuación artificial de las condiciones óptimas para las siembras.

Para el cálculo del área potencial disponible en este modelo se restaron las áreas que representan infraestructura urbana, áreas naturales protegidas, bosques nacionales y acantilados rocosos (Fig. 12). El mapa de cobertura de suelos que se ha utilizado para este ejercicio se fundamenta en el Proyecto GAP de Puerto Rico (Puerto Rico Gap Analysis Project—PRGAP) (Gould *et al*, 2008). Los resultados para cada especie agrícola analizada se encuentran en la Tabla 6.

Figura 12 Selección de áreas extraídas del modelo

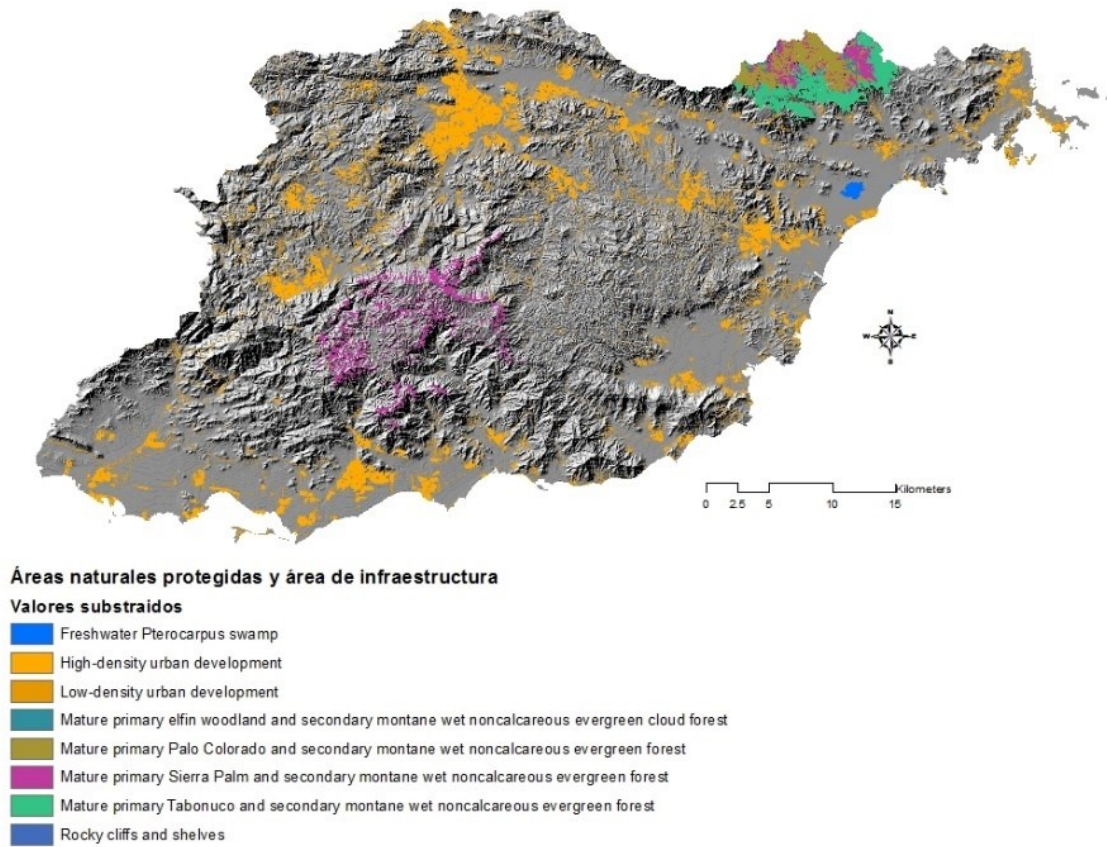
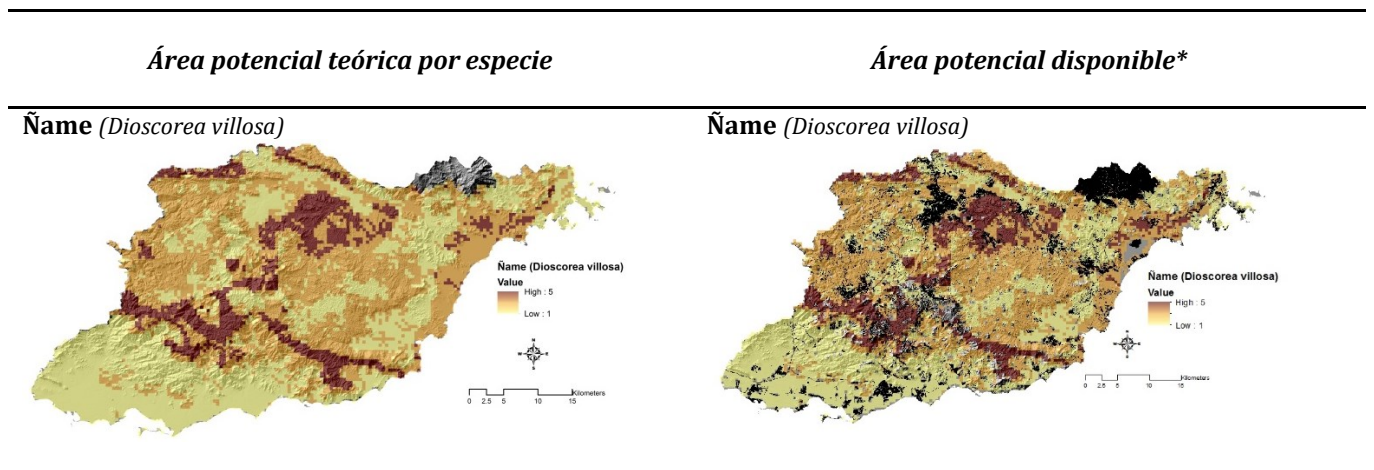
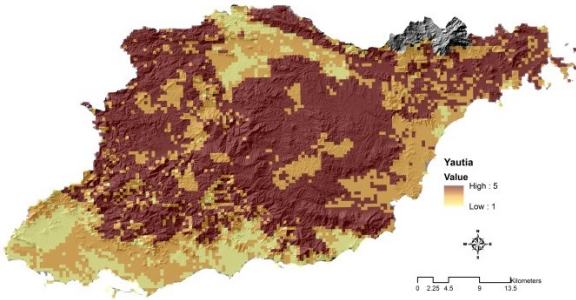


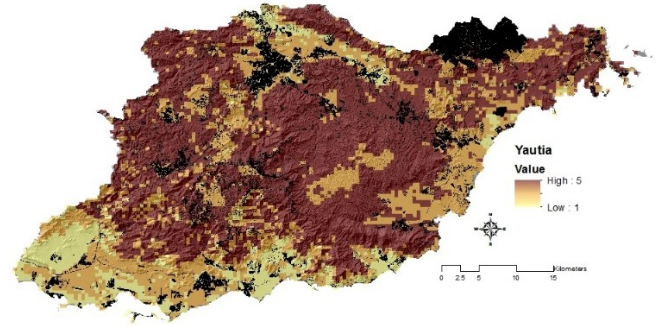
Tabla 6 Área potencial teórica y disponible por cada una de las especies agrícolas analizadas



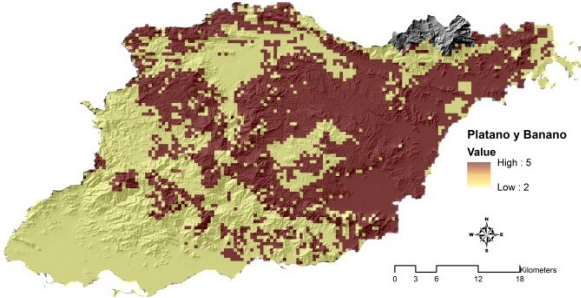
Yautía (*Xanthosoma violaceum*)



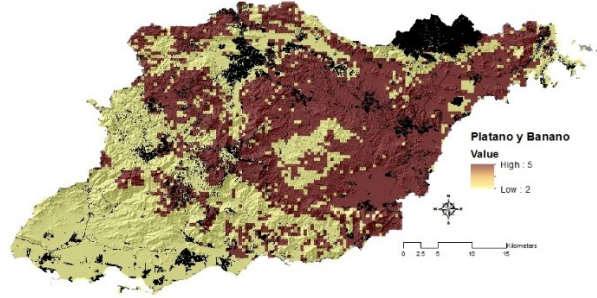
Yautía (*Xanthosoma violaceum*)



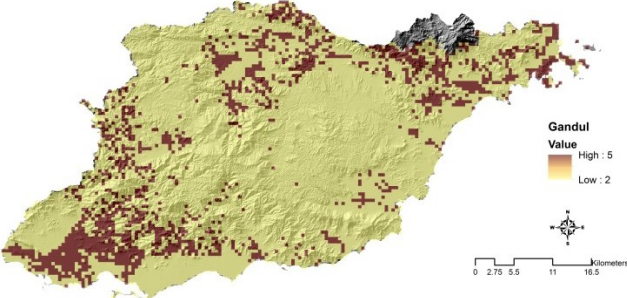
Plátano y Banano (*Musa acuminata*, *Musa sapientum*)



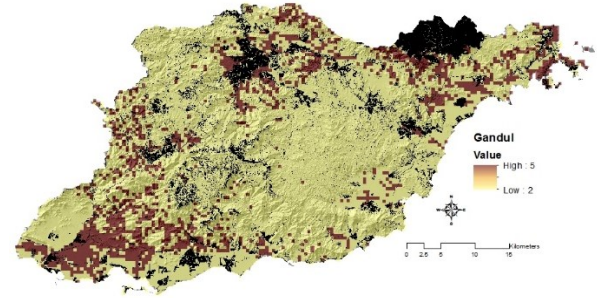
Plátano y Banano (*Musa acuminata*, *Musa sapientum*)



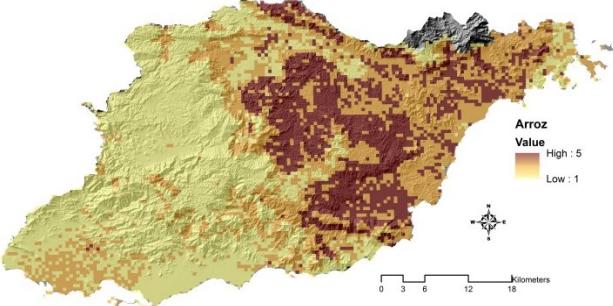
Gandul (*Cajanus cajan*)



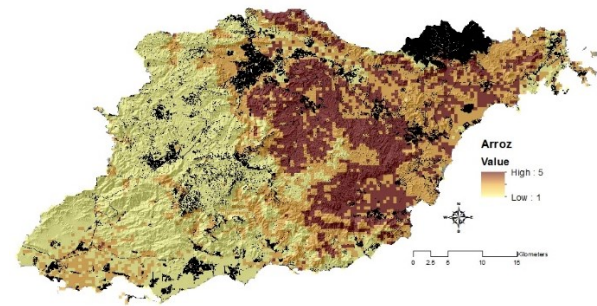
Gandul (*Cajanus cajan*)



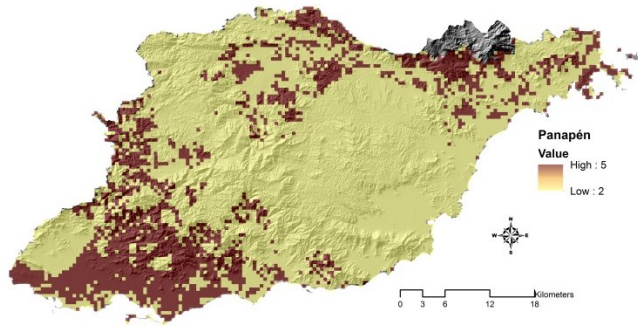
Arroz (*Oryza sativa*)



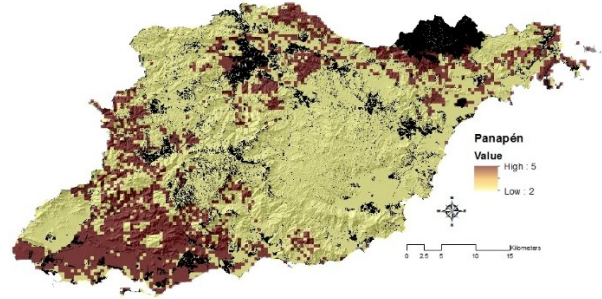
Arroz (*Oryza sativa*)



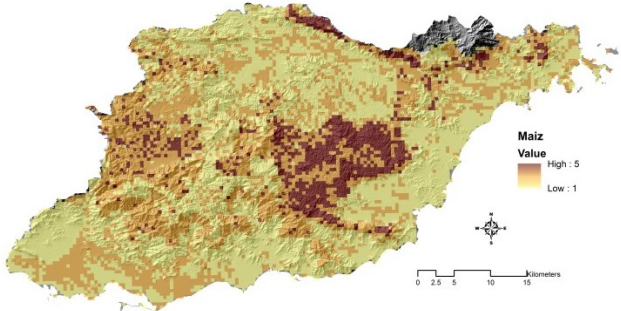
Panapén (*Artocarpus altilis*)



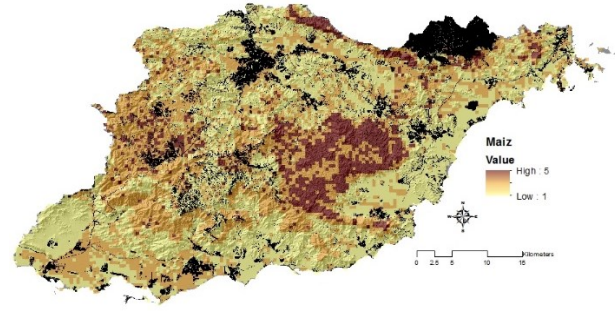
Panapén (*Artocarpus altilis*)



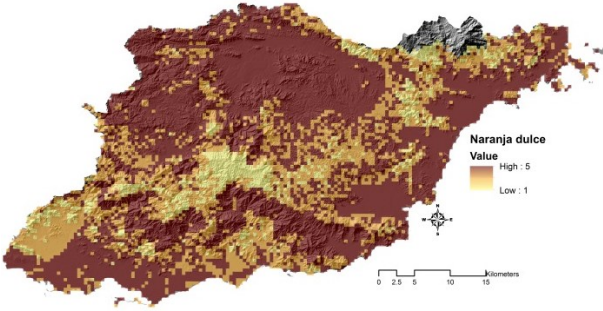
Maíz (*Zea mays*)



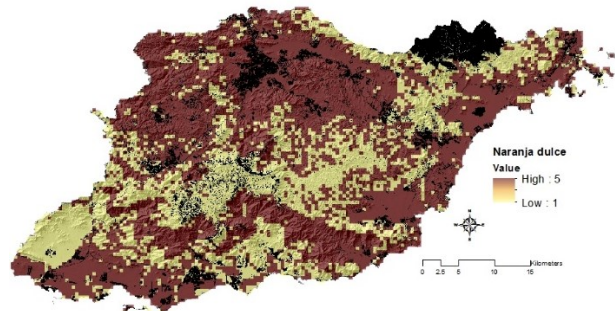
Maíz (*Zea mays*)



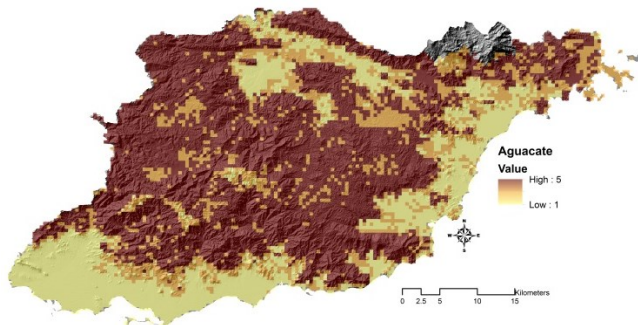
Naranja (*Citrus sinensis*)



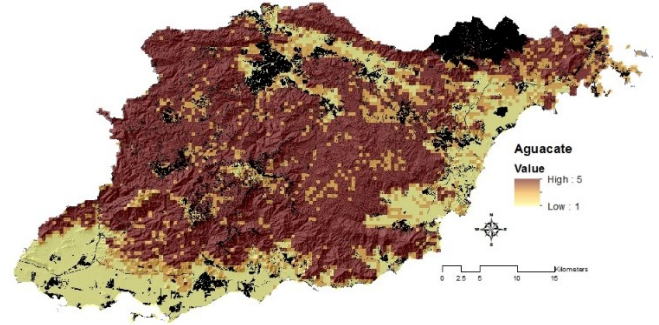
Naranja (*Citrus sinensis*)



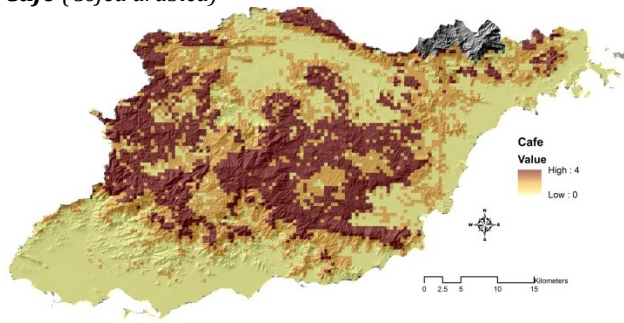
Aguacate (*Persea americana*)



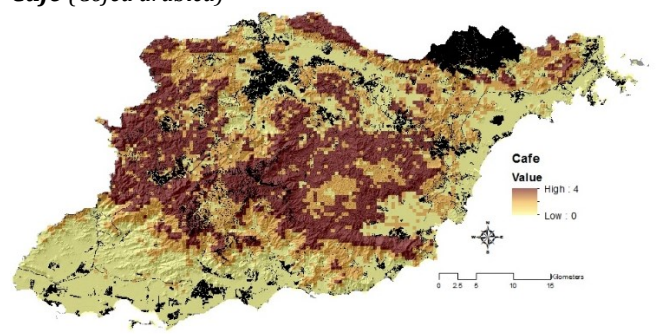
Aguacate (*Persea americana*)



Café (Cofea arabica)



Café (Cofea arabica)

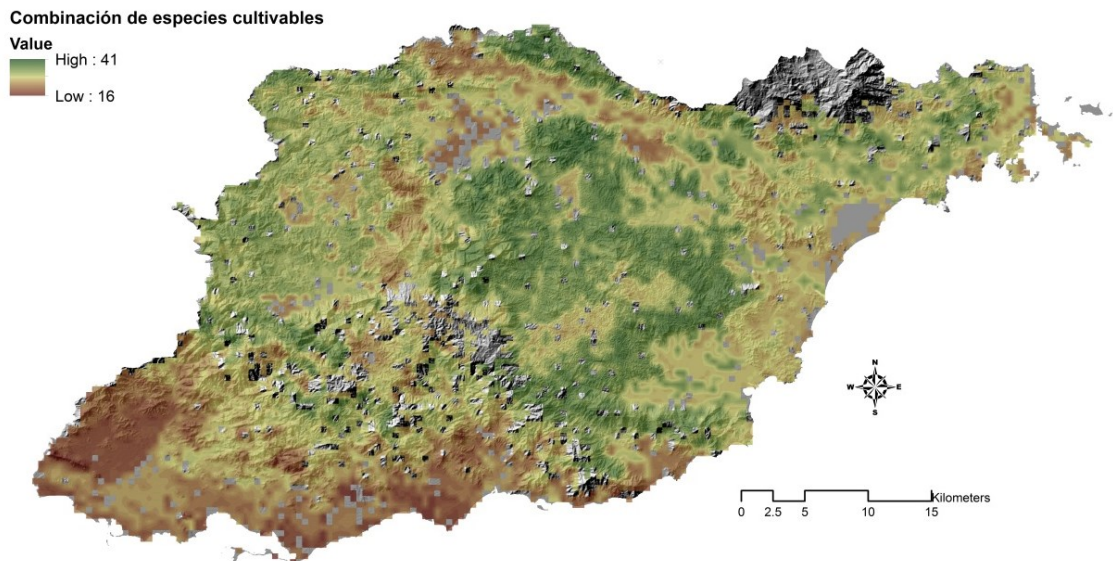


**En el área potencial disponible, las áreas oscuras fueron sustraídas del modelo.*

3.2 Sectores de aptitud agrícola del territorio.

Se analizó la aptitud del territorio para sustentar el cultivo de las distintas especies para el abastecimiento de las especies evaluadas. Se estimó el número y naturaleza de las especies presentes, sumando sus respectivos índices de aptitud. La escala de variación posible sería por tanto de 0-50. El análisis revela un rango de variación de 16-41. En la figura 13 se muestra el resultado de la sumatoria de los índices de aptitud de las diez especies consideradas.

Figura 13 Combinación de especies cultivables

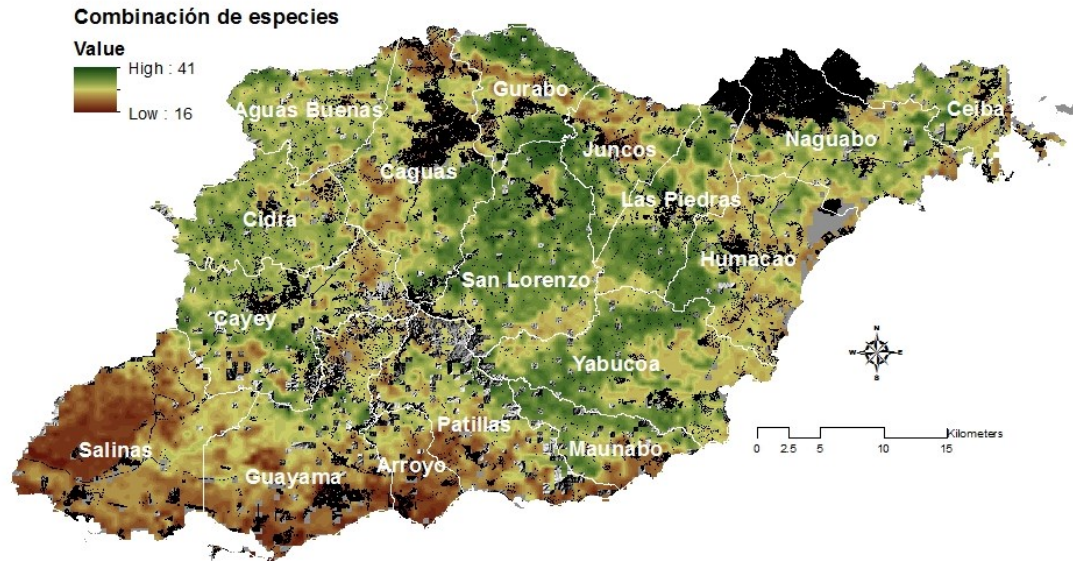


Para llevar a cabo la combinación de las diez especies cultivables, se trabajó una secuencia de sumatoria lineal sin ponderación de los rásters en el módulo “Weighted Overlay” del Análisis Espacial en ArcGIS.

Esta metodología permite establecer las áreas con mayor capacidad de acogida para distintas especies cultivables. El método permite incorporar más variables y más especies en la práctica mejorando así el ajuste del territorio a distintas propuestas de áreas posteriores. Además, se pueden identificar los ecosistemas presentes para su posterior evaluación. De esta forma, la propuesta representa un acercamiento desde donde partir para llevar a cabo discusiones comunitarias (escala local, de paisaje o finca) que puedan sustentar las decisiones administrativas, nivel estatal, regional y municipal, según sugiere la secuencia metodológica en la Tabla 3. Sin embargo, para concretar diseños finales de nuevos agroecosistemas será necesario tener en cuenta las combinaciones posibles entre cultivos, considerando la preferencia de las especies respecto a las distintas zonas del territorio. Lo que se verá más adelante en este trabajo.

Una vez aplicado el modelo, se puede observar que las áreas de mayor aptitud para las especies manejadas en este ejercicio se encuentran en los municipios de San Lorenzo, Yabucoa, Las Piedras, Humacao, Caguas y Cayey (Fig. 14). En estas áreas se aprecia una mayor coincidencia de especies que pueden ser combinadas para el diseño de los agroecosistemas y ofrecer así diversidad de productos.

Figura 14 Primer acercamiento a áreas con mayor capacidad para acoger distintas especies agrícolas



3.2.1 Análisis de probabilidad de clases.

El análisis de la aptitud para distintas especies arroja valores de tipo geográfico continuo. Por ello, se hace necesaria la búsqueda de valores discretos, para establecer clases de aptitud del territorio a partir de las cuales plantear análisis posteriores. Con la intención de obtener valores geográficos discretos e identificar áreas de aptitud para el cultivo, se llevó a cabo un *análisis de probabilidad de clases*, incorporando el módulo de análisis espacial del programa ArcGIS para segregar los valores resultantes de la combinación de especies (sumatorio de índices de aptitud). Esta herramienta emplea estadísticas bayesianas para estimar las probabilidades de clases.

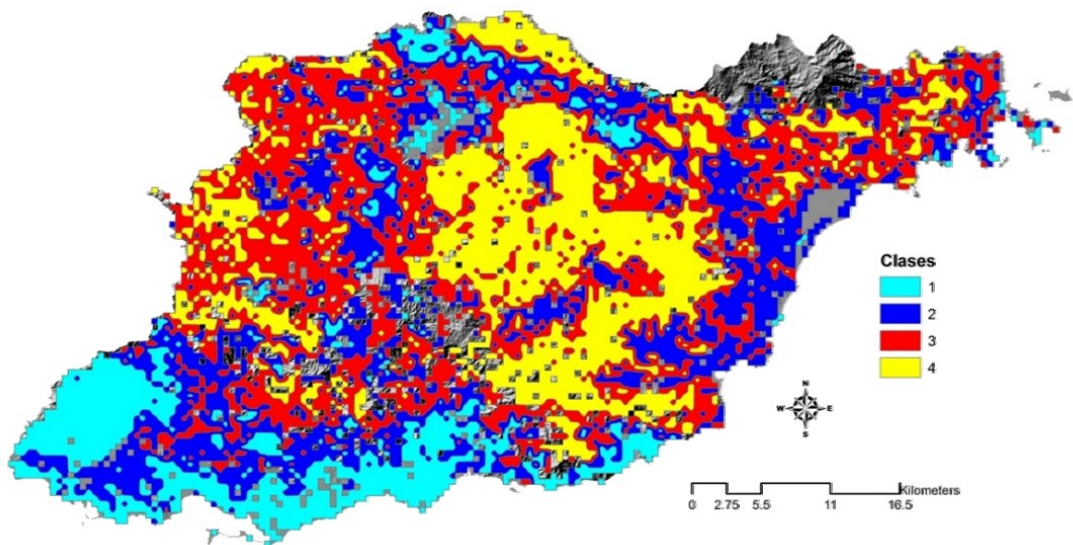
Las estadísticas bayesianas implican comenzar con información previa acerca de los datos y actualizar esa información después de que se recolectan. La información

acerca de los valores de datos se cuantifica con probabilidades, que luego se ajustan por una función de probabilidad. La herramienta tiene en cuenta las varianzas y covarianzas de clases cuando asigna cada celda a una de las clases representadas. En este caso la clasificación se hizo en función del raster de Combinación de Especies Cultivables (Fig.13). La función de probabilidad se define por valores de datos para cada clase¹. Se establecieron cuatro clases en las que puede dividirse la variación continua del índice de aptitud del territorio para el cultivo de las especies analizadas (Tabla 7; Fig. 15).

Tabla 7 Resultado de las especies que coinciden en cada clase de menor a mayor acogida.

<i>Sector</i>	<i>Combinación de especies muestreadas</i>
1	Naranja, Panapén, Plátano y Banano
2	Naranja, Aguacate, Gandul, Ñame, Yautía, Plátano y Banano
3	Naranja, Aguacate, Café, Gandul, Yautía, Panapén, Plátano y Banano
4	Naranja, Aguacate, Café, Maíz, Arroz, Ñame, Panapén, Plátano y Banano

Figura 15. Clases de aptitud del terreno (capacidad de acogida) para los cultivos



Las cuatro clases resultantes del análisis fueron determinadas por las variables edáficas, fisiográficas y climáticas de las especies bajo evaluación. Cada

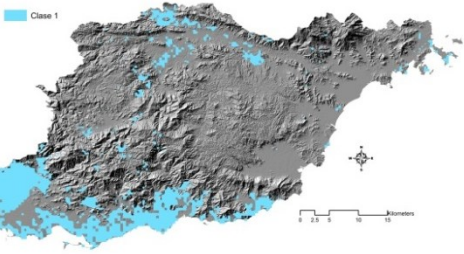
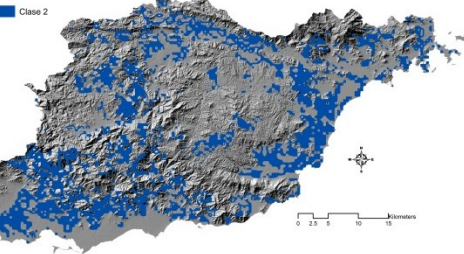
¹ <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/class-probability.htm>, accedido el 30/01/2016.

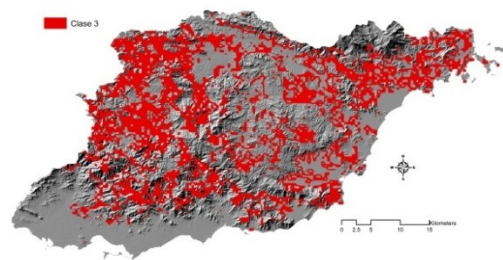
una de las zonas arroja información específica sobre la adecuación del territorio para acoger las especies que coinciden, lo que ofrece una primera información útil para la planificación agroecológica del área. La combinación entre esas variables territoriales, la distribución de las especies y los ecosistemas existentes, sugiere información importante para poder estimar los cambios en los servicios de los ecosistemas que pueden producirse como consecuencia del cultivo y obtener criterios sobre los tipos de propuestas de agroecosistemas más adecuados, que mantengan en mayor medida los servicios de regulación.

3.2.1.1 Cubierto vegetal actual en los sectores de aptitud agroecológica

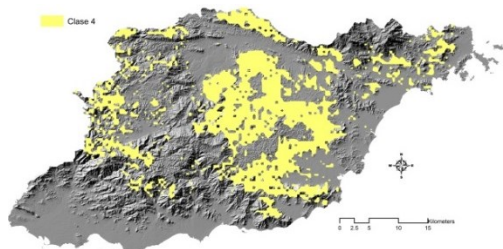
Luego de obtener cuatro sectores determinados por la adecuación del territorio para las diez especies estudiadas, se estimó para cada sector el tipo de cubierta vegetal actual. En la tabla 8 se establece una relación de los ecosistemas presentes y la cubierta en cada sector de aptitud, en porcentaje y en km². Las categorías para estimar la cubierta vegetal fueron extraídas del “GAP Analysis” (Gould, 2008) y posteriormente se clasificaron en once sub-categorías o tipos generales de ecosistemas (Tabla 9) para establecer relaciones con los servicios que los ecosistemas ofrecen actualmente en cada sector de aptitud para cultivos.

Tabla 8 Cubierta vegetal presente según el análisis para los diferentes sectores

Cluster (Sectores)	% cubierta	Km ²	Cubierta vegetal, categorías originales de ocupación de suelos
 <p>Sector 1</p>	50	69	Pastos y pastizales secos
	24	34	Pastos y pastizales semi húmedos
	10	14	Siembras
	9	12	Árboles y arbustos secos de zonas bajas
	<7	<10	<i>Mature secondary lowland moist noncalcareous evergreen forest</i> <i>Young secondary lowland moist noncalcareous evergreen forest</i> <i>Seasonally flooded herbaceous nonsaline wetlands</i> <i>Lowland dry alluvial shrubland and woodland</i> <i>Lowland moist noncalcareous shrubland and woodland</i> <i>Young secondary lowland dry noncalcareous semideciduous forest</i> <i>Mature secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Young secondary lowland moist alluvial evergreen forest</i> <i>Lowland moist alluvial shrubland and woodland</i> <i>Young secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Mature primary Sierra Palm and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Montane wet noncalcareous evergreen shrubland and woodland</i> <i>Mangrove forest and shrubland</i> <i>Mature primary Tabonuco and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i>
 <p>Sector 2</p>	40	131	Pastos y pastizales semi húmedos
	12	41	Pastos y pastizales secos
	11	37	Bosques secundario joven semi húmedo de zonas bajas
	8	28	Bosque secundario maduro semi húmedo de zonas bajas
	7	23	Siembras
	6	20	Árboles y arbustos semi húmedos de zonas bajas
	5	16	Bosque secundario maduro húmedo de montaña
	4	12	Árboles y arbustos secos de zonas bajas
	4	12	Bosque secundario joven húmedo de montaña
	<3	<10	<i>Seasonally flooded herbaceous nonsaline wetlands</i> <i>Young secondary lowland dry noncalcareous semideciduous forest</i> <i>Mature primary Sierra Palm and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Young secondary lowland moist alluvial evergreen forest</i> <i>Lowland moist alluvial shrubland and woodland</i> <i>Lowland dry alluvial shrubland and woodland</i> <i>Mature primary Tabonuco and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Montane wet noncalcareous evergreen shrubland and woodland</i> <i>Mangrove forest and shrubland</i> <i>Mature primary Palo Colorado and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i>



Sector 3



Sector 4

51	215	Pastos y pastizales semi húmedos
16	69	Bosques secundario joven semi húmedo de zonas bajas
11	47	Bosque secundario maduro semi húmedo de zonas bajas
9	40	Árboles y arbustos semi húmedos de zonas bajas
6	24	Bosque secundario maduro húmedo de zonas bajas
5	20	Bosques secundario joven húmedo de montaña
<2	<10	<i>Hay and row crops</i> <i>Dry grasslands and pastures</i> <i>Young secondary lowland moist alluvial evergreen forest</i> <i>Seasonally flooded herbaceous nonsaline wetlands</i> <i>Mature primary Sierra Palm and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Montane wet noncalcareous evergreen shrubland and woodland</i> <i>Lowland moist alluvial shrubland and woodland</i> <i>Lowland dry noncalcareous shrubland and woodland</i> <i>Young secondary lowland dry noncalcareous semideciduous forest</i> <i>Mature primary Tabonuco and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Lowland dry alluvial shrubland and woodland</i> <i>Mangrove forest and shrubland</i>
46	171	Pastos y pastizales semi húmedos
21	77	Bosques secundario joven semi húmedo de zonas bajas
12	43	Bosques maduro secundario húmedo de zonas bajas
8	30	Árboles y arbustos semi húmedos de zonas bajas
4	16	Bosques maduro secundario húmedo de montaña
6	22	Bosque secundario joven húmedo de montaña
<3	<10	<i>Montane wet noncalcareous evergreen shrubland and woodland</i> <i>Hay and row crops</i> <i>Mature primary Sierra Palm and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Young secondary lowland moist alluvial evergreen forest</i> <i>Seasonally flooded herbaceous nonsaline wetlands</i> <i>Lowland moist alluvial shrubland and woodland</i> <i>Mature primary Tabonuco and secondary montane wet noncalcareous evergreen forest</i> <i>Lowland dry alluvial shrubland and woodland</i> <i>Lowland dry noncalcareous shrubland and woodland</i> <i>Mangrove forest and shrubland</i> <i>Dry grasslands and pastures</i> <i>Lowland moist alluvial shrubland and woodland</i>

3.3 Estimación de los servicios de los ecosistemas a escala regional

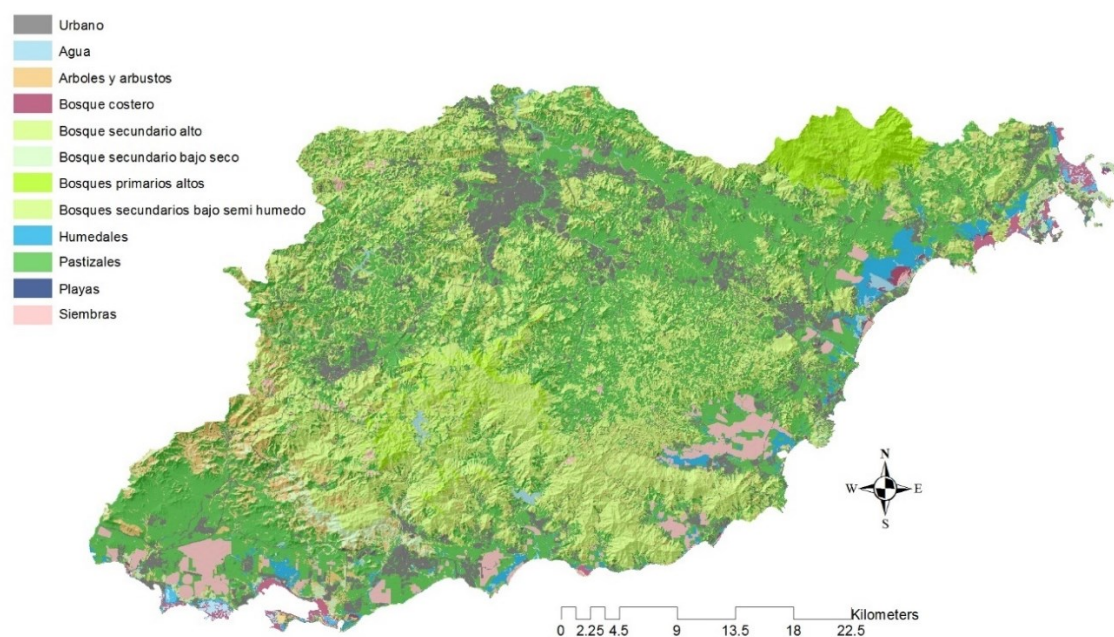
Para llevar a cabo una estimación de los servicios de los ecosistemas en la región se agruparon las categorías originales de ocupación del suelo en once tipos generales (Tabla 9; Fig. 16).

Tabla 9 Conglomerados de las categorías originales (Gould et al, 2008)

Tipos generales de ocupación del suelo	Categorías originales ocupación de suelo (tipos de ecosistemas)
Agua	Agua fresca
	Agua salada
Árboles y arbustos	Árboles y arbustos semi húmedos de zonas bajas
	Árboles y arbustos secos de zonas bajas
	Arbustos cársicos secos de zonas bajas
	Arbustos y árboles medianos secos cársicos de zonas bajas
	Arbustos y árboles medianos secos de zonas bajas
	Arbustos y árboles semi húmedos de zonas bajas
Bosque costero	Bosque manglar
Bosque secundario de zona alta	Bosque secundario aluvial maduro húmedo de montaña
	Bosque secundario maduro húmedo de montaña
	Bosques secundarios jóvenes aluvial húmedo de montaña
	Bosques secundarios jóvenes húmedo de montaña
Bosque secundario seco de zona baja	Bosque secundarios aluvial maduro semideciduo seco z. baja
	Bosque secundarios cársico maduro semideciduo seco z. baja
	Bosque secundario maduro semideciduo seco z. baja
	Bosques rivereños secos de zona bajas
	Bosques secundarios jóvenes aluvial seco de zona baja
	Bosques secundarios jóvenes cársico seco de zona baja
	Bosques secundarios jóvenes seco de zona baja
Bosques primarios de zona alta	Bosque primario maduro húmedo nuboso
	Bosque primario maduro Palma de Sierra
	Bosque primario maduro Palo Colorado
	Bosque primario maduro Tabonuco
Bosques secundarios semi húmedo de zona baja	Bosque ribereños bajos semi húmedos
	Bosque secundario aluvial maduro semi húmedo bajo
	Bosque secundario maduro semi húmedo bajo
	Bosques secundario jóvenes aluviales semi húmedo bajo
	Bosques secundarios jóvenes semi húmedo bajo
Humedales	Bosque pantano Pterocarpus
	Humedales
	Humedales
	Humedales no salinos inundados estacionales
	Humedales salinos inundados estacionales
	Sales y marismas

Pastizales	<i>Pastos y pastizales secos</i>
	<i>Pastos y pastizales semi humedo</i>
Playas	<i>Playas pedregosas</i>
	<i>Playas arenosas</i>
Siembras	<i>Plantación café activa y abandonada húmedo zona de montaña</i>
	<i>Plantaciones de café abandonados semi húmedos zonas bajas</i>
	<i>Plantaciones de palmas, agricultura y plantaciones</i>
	<i>Siembras</i>

Figura 16 Mapa resultado de la agrupación de categorías originales de ecosistemas



Tipos generales de ecosistemas	<i>Agua</i>	<i>Árboles y arbustos</i>	<i>Bosque Costero</i>	<i>Bosque secundario zona alta</i>	<i>Bosque secundario seco zona baja</i>	<i>Bosques primarios z.alta</i>	<i>Bosque secundario semi húmedo zona baja</i>	<i>Humedales</i>	<i>Pastizales</i>	<i>Playas</i>	<i>Siembras</i>
% de cubierta vegetal	0,77	9,75	0,95	8,27	1,68	3,99	21,03	2,12	38,31	0,06	3,24

Una vez obtenidas las agrupaciones de ecosistemas, se estableció una estimación de los servicios que estos prestan. En la tabla 10 se representan algunos de los servicios de los ecosistemas en la región centro sur oriental de Puerto Rico, según la tipología establecida por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA, 2005). Se ha adoptado las definiciones de Gómez-Sal & González-García, 2017 (Anejo A), relacionadas con cada una de las clasificaciones de los servicios de los ecosistemas o ecoservicios en función de los agroecosistemas. Esta aproximación pretende estimar el aprovechamiento actual de estos servicios en la región para asegurar que los agroecosistemas propuestos sean compatibles con estos servicios, los complementen o no perjudiquen su prestación.

La numeración identifica el beneficio extraído del servicio ecosistémico en función a su uso directo e indirecto en los tipos generales de ecosistemas. La escala es 1=baja, representada en rojo; 2=mediana, representada en amarillo; 3=alta, representada en verde. Las celdas en blanco denotan que el servicio no es aplicable al ecosistema en cuestión en el contexto local. Las actividades que inciden en los servicios de aprovisionamiento y algunos culturales se estimaron a partir del Censo Agrícola de Puerto Rico (Census of Agriculture, 2012), en el caso de los beneficios extraídos por actividades comerciales, y el Censo Económico de PR (Economic Census, 2012) donde se evaluó información en cada uno de los dieciséis municipios que componen la región de estudio. Para el estimado de otros servicios ecosistémicos prestados sin intervención humana como los de regulación, algunos culturales y aprovisionamiento, se substrajo información de documentos como la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA, 2005), la Economía de los Ecosistemas y Biodiversidad (TEEB, 2010), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), varias investigaciones de la Sociedad Ecológica de América (esa.org). También consultas a funcionarios públicos y académicos.

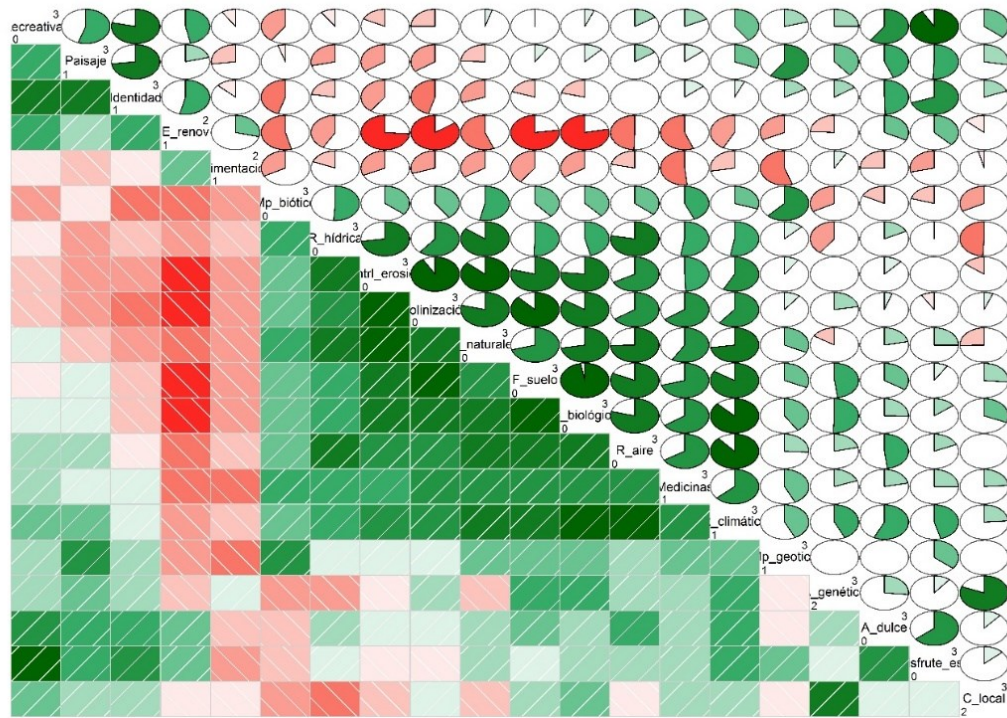
En los resultados, los servicios de regulación y culturales se mostraron superiores en la valoración estimada para los ecosistemas en la región (Tabla 10).

La figura 17, muestra el valor de prestación de servicio de los ecosistemas en función del área geográfica que ocupa cada uno de estos en la región. En esta tabla se puede observar que el acervo genético y agua dulce son servicios importantes. En todo Puerto Rico, el conocimiento en cuanto a la medicina natural es de alto valor. El puertorriqueño tradicional conoce sobre plantas medicinales (llamados localmente “remedios”). Actualmente la medicina natural está volviendo a tener importancia debido al incremento del conocimiento general de las ventajas que tienen sobre los fármacos (Benedetti, 1998).

3.3.1 Sinergias y conflictos entre los servicios

Una vez efectuada la estimación ponderada de los ecoservicios, se estudiaron los resultados a través de un correlograma (Fig. 18) y un análisis de ordenación (Fig. 19), para observar la relación entre los tipos generales de ecosistemas y su capacidad de prestar los distintos ecoservicios. Estos cálculos fueron llevados a cabo mediante el programa *R-Studio*. Se observa una relación estrecha entre los servicios de regulación entre sí, como un núcleo fuerte, esta asociación es reafirmada en el modelo de ordenación de servicios. Por otro lado, las energías renovables y la alimentación son servicios de aprovisionamiento que generan poca relación con los demás servicios explicado por la poca actividad de ese tipo existente actualmente en la región de estudio.

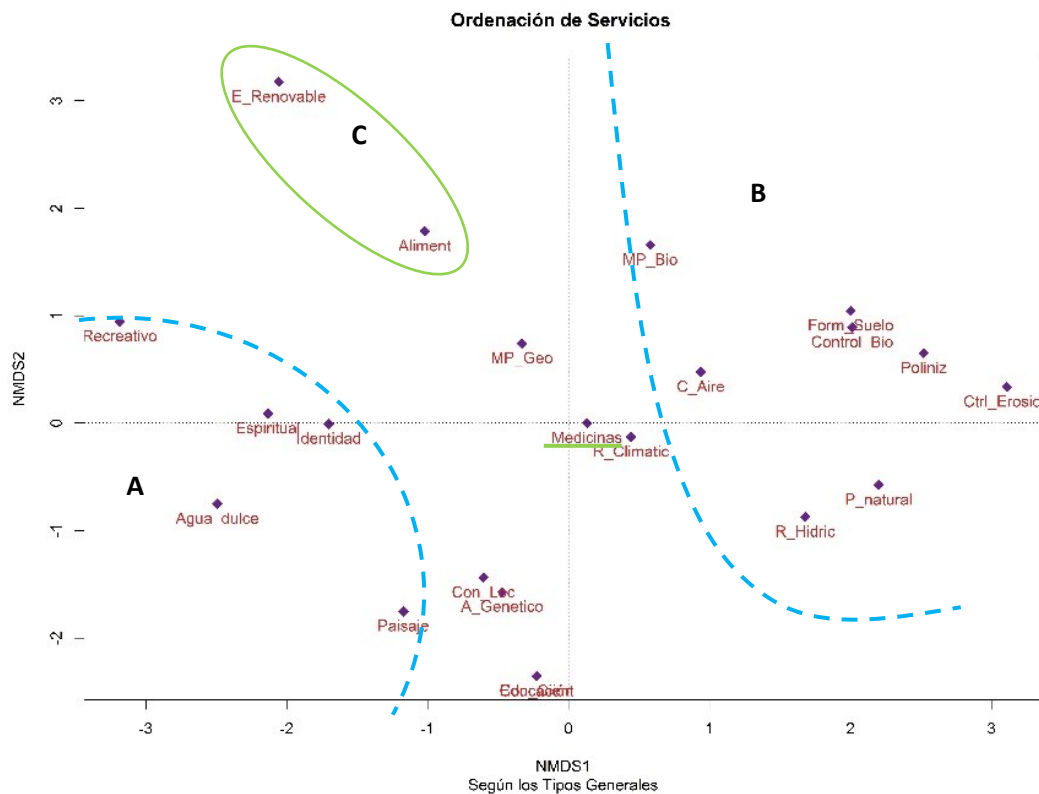
Figura 18 Correlograma entre los ecoservicios*



*Los tipos de ecoservicios fueron abreviados como Alimentación (Alimentación), Agua dulce (A_dulce), Materia prima biótica (Mp_biótica), Materia prima geotica (Mp_geotico), Energía renovable (E_renov), Acervo genético (A_genético), Medicinas naturales y principios activos (Medicinas), Regulación climática (R_climática), Regulación de aire (R_aire), Regulación hídrica (R_hídrica), Control de erosión (Cntrl_erosión), Fertilidad de suelo (F_suelo), Control perturbaciones naturales (P_naturales), Control biológico (C_biológico), Polinización (Polinización), Conocimiento local (C_local), Identidad cultural (Identidad), Disfrute espiritual, (Disfrute_esp), Disfrute del paisaje (Paisaje), Actividades recreativas (Recreativas).

La interpretación conjunta de los resultados de correlación entre servicios (Fig. 18) y el análisis de ordenación (Fig. 19), permite apreciar los posibles conflictos o sinergias (respecto a la prestación de servicios) que pueden derivarse de los cambios en los usos del suelo. El análisis de ordenación fue realizado a través de un escalamiento multidimensional (Non-metric multidimensional scaling, NMDS). Esta técnica permite analizar la interdependencia representando las relaciones entre los objetos analizados y sus causas en un espacio geométrico de pocas dimensiones (López & Hidalgo, 2010).

Figura 19 Análisis de ordenación NMDS, entre servicios y tipo generales en la zona de estudio.



*Los tipos de ecoservicios fueron abreviados como Alimentación (Alimentación), Agua dulce (A_dulce), Materia prima biótica (Mp_biótico), Materia prima geotica (Mp_geotico), Energía renovable (E_renov), Acervo genético (A_genético), Medicinas naturales y principios activos (Medicinas), Regulación climática (R_climática), Regulación de aire (R_aire), Regulación hídrica (R_hídrica), Control de erosión (Cntrl_erosión), Fertilidad de suelo (F_suelo), Control perturbaciones naturales (P_naturales), Control biológico (C_biológico), Polinización (Polinización), Conocimiento local (C_local), Identidad cultural (Identidad), Disfrute espiritual, (Disfrute_esp), Disfrute del paisaje (Paisaje), Actividades recreativas (Recreativas).

El modelo de ordenación efectuado para identificar la relación entre los servicios de los ecosistemas evaluados en el área de estudio sugiere varias relaciones. Se aprecia un grupo bien definido (A) formado por servicios “culturales” (sentido de identidad, paisaje, uso recreativo); un segundo grupo de correlación amplio (B) reúne a la mayor parte los servicios de regulación, que a juzgar por su distribución amplia en el plano factorial, mantienen entre ellos una conexión flexible. La relación entre ambos grupos no es de conflicto y algunos de los servicios de regulación (reg. de aire, control climático) son compatibles o favorecen a los culturales. El servicio de suministro de alimentos, junto con energías renovables (C), son los más condicionados por los servicios de regulación, mientras que otros servicios de suministro (plantas medicinales) son más compatibles.

Este resultado nos indica los aspectos que es preciso considerar con mayor atención a la hora de cambiar los usos actuales del suelo en la región estudiada. En particular la necesidad de diseñar agroecosistemas que mantengan las funciones de regulación esenciales, cuidando tanto su composición y diseño, como su organización en el territorio como parte de un entramado en el que se mantengan ecosistemas naturales en las zonas más frágiles, con significado estratégico.

3.4 Avanzando hacia la suficiencia alimentaria

El manejo adecuado de los agroecosistemas debe incluir un fuerte compromiso de conservación de los servicios ecosistémicos. Los agroecosistemas pueden ser diseñados para reforzar o compensar funciones de los ecosistemas que han sido dañadas o minimizadas (Gómez Sal, 1997). Las decisiones respecto a los conflictos (*trade offs*) entre servicios deben considerar tanto el bienestar socio-cultural, como la integridad ecológica y su capacidad de regeneración (resiliencia). La agroecología, con su fundamento en la ecología, proporciona una buena fase para una combinación fructífera entre la agricultura y la biología de la conservación (Gliessman, 1998).

Como se ha expuesto en la introducción de este capítulo, en la región centro sur oriental de Puerto Rico, los bosques secundarios y pastizales han ocupado mayormente el territorio. No obstante, el área tiene reconocidas zonas de alto valor agrícola, por su fertilidad, situados en algunos valles tanto del interior como costeros, protegidos por ley. Esta metodología aporta una plataforma amplia desde donde partir para tomar decisiones respecto a estrategias de cultivo en relación a los ecosistemas presentes, considerando también el efecto sobre los servicios actualmente presentes. El paisaje resultante de esta estrategia será, en buena medida, un mosaico heterogéneo, con variedad de hábitats dispersos.

Altieri (1995), sugiere que ciertas partes del mosaico agrario, debe permanecer en una condición relativamente natural, como por ejemplo los humedales, los corredores riparios, promontorios, entre otros. Otras partes pueden ser perturbadas ocasionalmente pero no manejadas intensivamente, como los bordes de campos de cultivo, áreas urbanas circundantes, franjas entre campos de cultivos y áreas naturales adyacentes. Ecosistemas con poca intervención humana pueden rodear áreas en las cuales domina la producción agrícola. Según Gliessman, 1998, los paisajes agrícolas típicos establecidos según niveles de influencia humana se pueden dividir en tres secciones, desde la perturbación intensa hasta la naturaleza prístina. Los tipos básicos del paisaje serían a) *áreas de producción agrícola*, manejadas de manera intensiva y perturbadas regularmente; b) *áreas de influencia humana reducida o moderada*, como lo son bosques para extracción de maderas, pastizales, barreras vivas y otras áreas de borde y sistemas agroforestales. Estas áreas están constituidas por mezclas de especies de plantas nativas y no nativas, y son capaces de servir como hábitat para muchas especies de animales nativos; c) *áreas naturales* o áreas que mantienen alguna semejanza con la estructura del ecosistema original y la composición de especies del lugar, a veces tienen tamaño pequeño, pueden contener especies introducidas o no nativas y estar sujetas a algún grado de interacción humana. Los diseños de agroecosistemas deseables en zonas con poca o ninguna actividad agrícola se pueden llamar hábitats manejados. Los paisajes creados pueden corresponder con usos culturales, teniendo en cuenta los

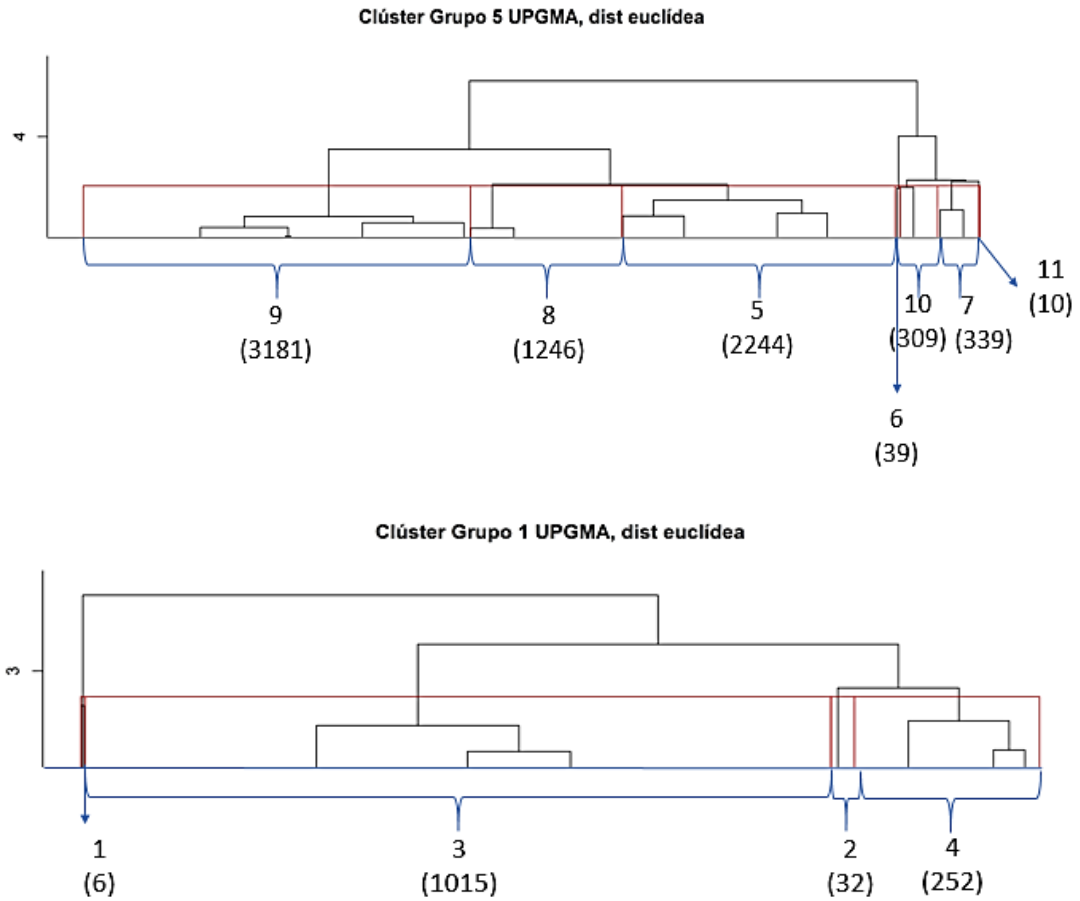
objetivos de producción coherente con el ecosistema y manteniendo la diversidad biológica y del paisaje.

En el caso de la zona de estudio, la figura 16 muestra como los ecosistemas imperantes actuales son pastizales semi húmedos, bosques secundarios adultos y jóvenes, y árboles y arbustos semi húmedos. En este sentido es prudente establecer modelos que mejoren la biodiversidad teniendo en cuenta que son áreas intervenidas y/o abandonadas. Esto sugiere que en el diseño final de los agroecosistemas se puedan integrar elementos de refuerzo de restauración en los casos que así sea requerido con el ánimo de proteger las funciones necesarias para continuar prestando los servicios en el área, mantener la diversidad del paisaje y la conservación del recurso. Es importante que las propuestas interactúen coherentemente con otros servicios de los ecosistemas, también entre las cuencas hidrográficas. Para ello se hace necesario identificar criterios para asegurar que no se vean afectados servicios claves de cada cuenca en particular. Un manejo adecuado del paisaje agrícola, tomando en consideración tanto la producción agraria como la conservación de biodiversidad, beneficia a todos los organismos presentes a largo plazo, incluyendo a los humanos (FAO, 2003).

3.5 Combinación de especies para su implantación en el territorio

Para obtener las agrupaciones de especies a partir de las cuales se determinarán los tipos de agroecosistemas, se llevó a cabo un análisis de clasificación de las unidades territoriales en función de su aptitud para el cultivo de las 10 especies agrícolas evaluadas, se utilizan los datos cuantitativos de aptitud, 0 a 5 para cada especie, como índice de similitud se emplea la distancia euclídea y el algoritmo UPGMA como criterio aglomerativo. El análisis se llevó a cabo en la programación R. Los resultados demostraron 11 grupos que se presentan en dos dendrogramas, indicando en cada grupo el número de unidades territoriales que lo forman (Fig. 20).

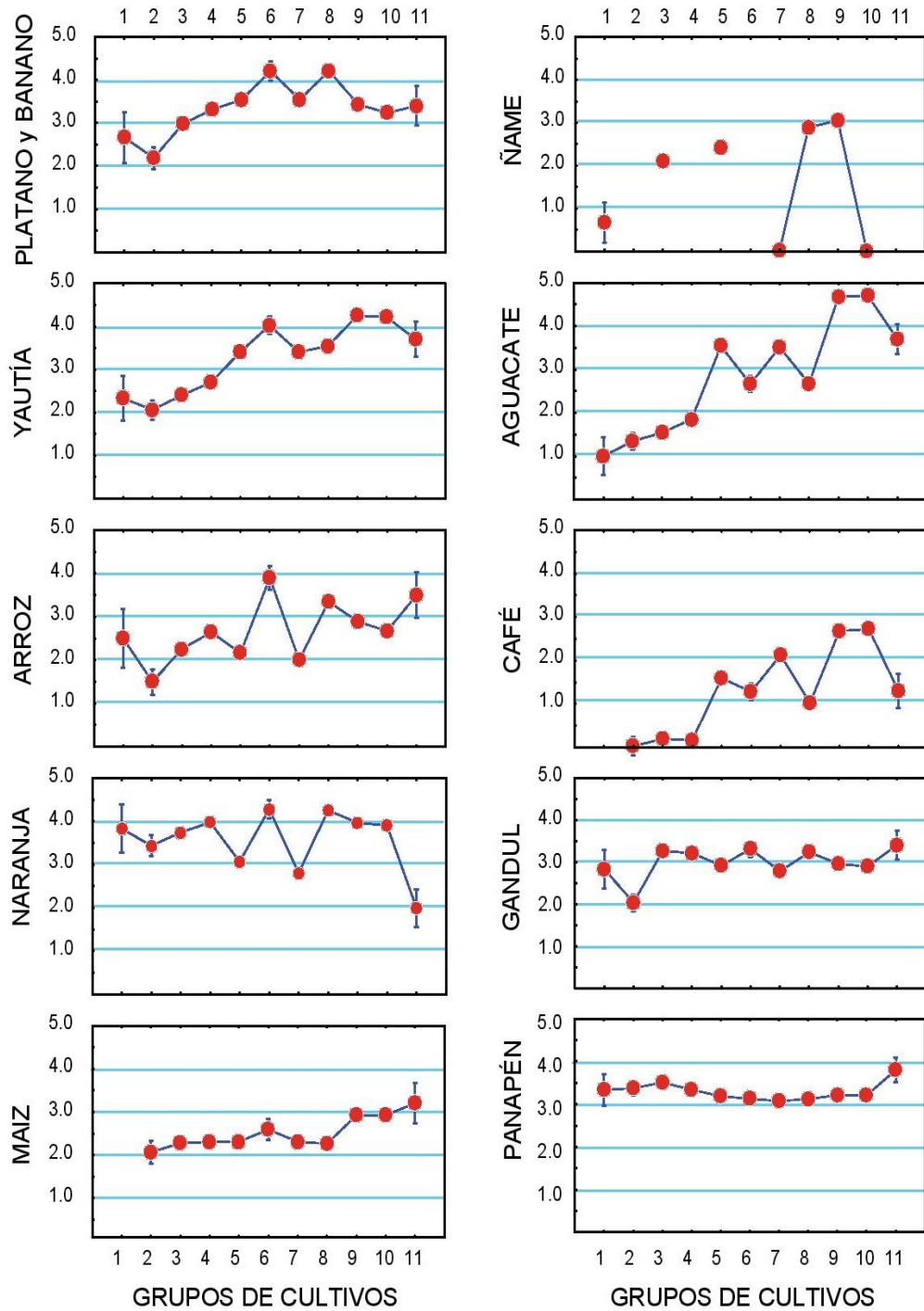
Figura 20 Clusters de grupos de especies en el territorio*



*No. de grupos y unidades de pixeles (450 m²) en el territorio

Para determinar significación de las diferencias entre grupos, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA, Fisher LSD). Todos los grupos tuvieron un nivel de significancia de $p < 0.05$, con un intervalo de confianza de 95%. La Figura 21 muestra la composición de los grupos territoriales (sectores agroecológicos) obtenidos en el análisis de clasificación, indicando el valor de la media del índice de aptitud de las especies que componen cada grupo.

Figura 21 Composición específica de los grupos territoriales (sectores agroecológicos)

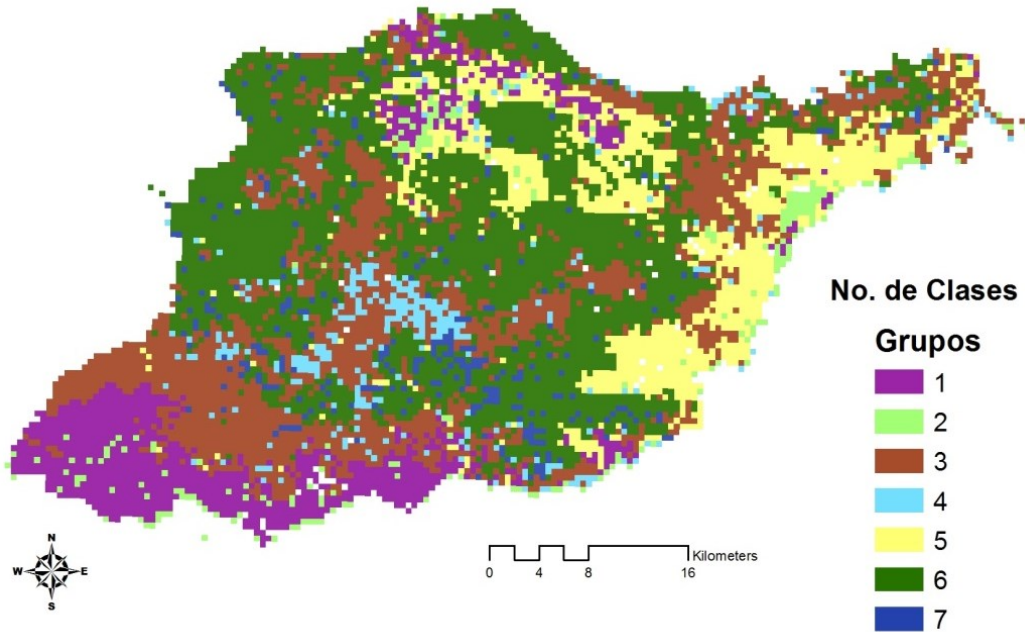


Con la intención de establecer propuestas para los agroecosistemas, fueron considerados los grupos con un número de unidades superior a 100 en el territorio analizado (Figura 20). Son los sectores 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, que reciben la numeración de 1 a 7 (Tabla 11; Fig.22).

Tabla 11 Grupos de unidades territoriales (sectores agroecológicos) con su composición específica y la aptitud de las especies en cada sector (a partir de la Figura 20)

NUEVOS SECTORES	VALOR	ESPECIES
1	>4	
	3-4	Platano y banana, gandul, panapén, naranja
	2-3	Yautía, arroz, maíz, name
	1-2	Aguacate
	<1	Café
2	>4	
	3-4	Platano y banano, naranja, gandul, panapén
	2-3	Yautia, arroz, maíz
	1-2	Aguacate
	<1	Café
3	>4	
	3-4	Platano y banano, yautia, naranja, aguacate, gandul, panapén
	2-3	Arroz, maíz, ñame
	1-2	Café
	<1	
4	>4	
	3-4	Platano y banana, yautia, aguacate, panapén
	2-3	Naranja, maíz, café, gandul
	1-2	Arroz
	<1	Ñame
5	>4	Platano y banano, naranja
	3-4	Yautia, arroz, gandul, panapen
	2-3	Maíz, ñame, aguacate
	1-2	Café
	<1	
6	>4	Yautía, aguacate
	3-4	Platano y banana, naranja, ñame, panapén
	2-3	Arroz , maíz, café, gaudúl
	1-2	
	<1	
7	>4	Aguacate, Yautía
	3-4	Platano y banano, naranja, panapén
	2-3	Arroz, maíz, café, gandul
	1-2	
	<1	Ñame

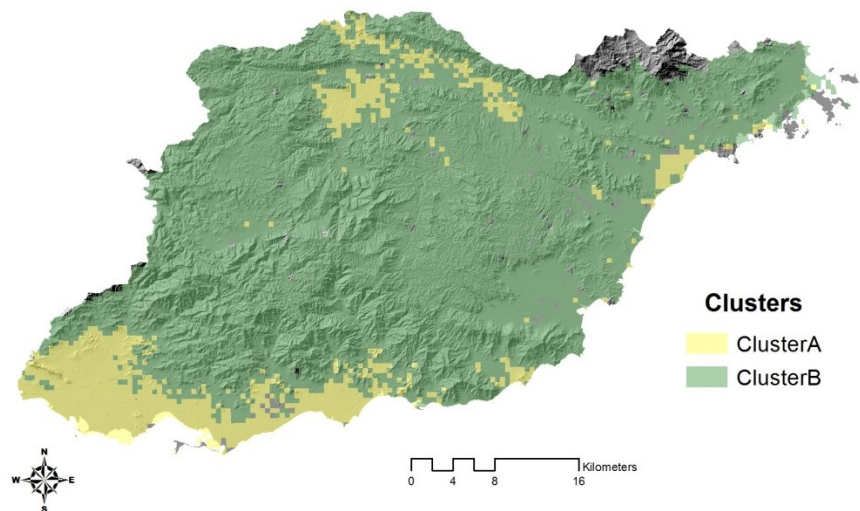
Figura 22 Sectores de cultivos para la propuesta de agroecosistemas



Representación de los sectores agroecológicos en el territorio.

El resultado del análisis de clasificación indica la formación de grandes conjuntos de unidades, el primero (cluster A) se compone de los grupos 1 y 2, mientras en el B, se encuentran los demás grupos (3-7).

Fig. 23 Clusters A y B



Cluster A (Fig. 24)

Los sectores 1 y 2, forman parte del primer clúster, su aptitud para el cultivo de diferentes especies es parecida, en ambos es alta para musáceas, naranja, gandul y panapén, si bien es mayor en 2 para naranja y musáceas (Figura 23 y Tabla 13). Para gandul y panapén ambos sectores son equivalentes, aunque ligeramente superior el 1. En un segundo nivel de aptitud figuran yautía, arroz y maíz. Para yautía y arroz, el sector 2 presenta aptitud superior, mientras que para maíz son equivalentes. El sector 1 presenta una aptitud media para ñame, pero no el 2, en el que el ñame no aparece en la estimación de aptitud. Ambos grupos presentan una aptitud baja para aguacate, si bien la del 2 es superior a la del 1.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se presentan a continuación distintas propuestas de agroecosistemas que combinan para cada sector las especies con mayor índice de aptitud, acompañadas en algunos casos de especies complementarias con índice de menor valor para el sector.

El criterio de diseño de los agroecosistemas combina la necesidad de abastecimiento, compensando la presencia de especies en los distintos sectores, para asegurar el cultivo de todas ellas (las especies asociadas a determinados sectores, son favorecidas en ellos), con la agrobiodiversidad, aprovechando en lo posible los distintos hábitats presentes en el sector.

Fig. 24 Representación en el territorio de los sectores agroecológicos 1 y 2

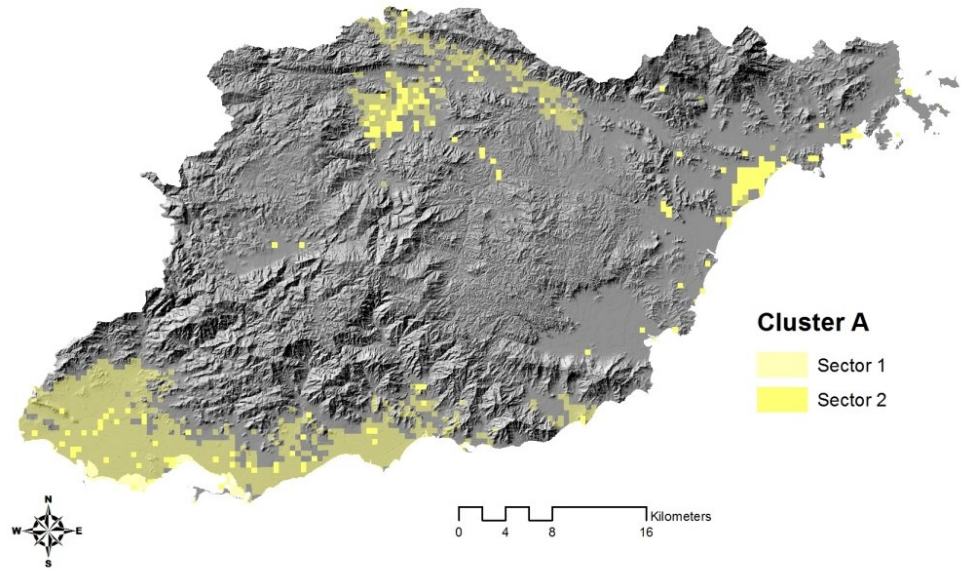
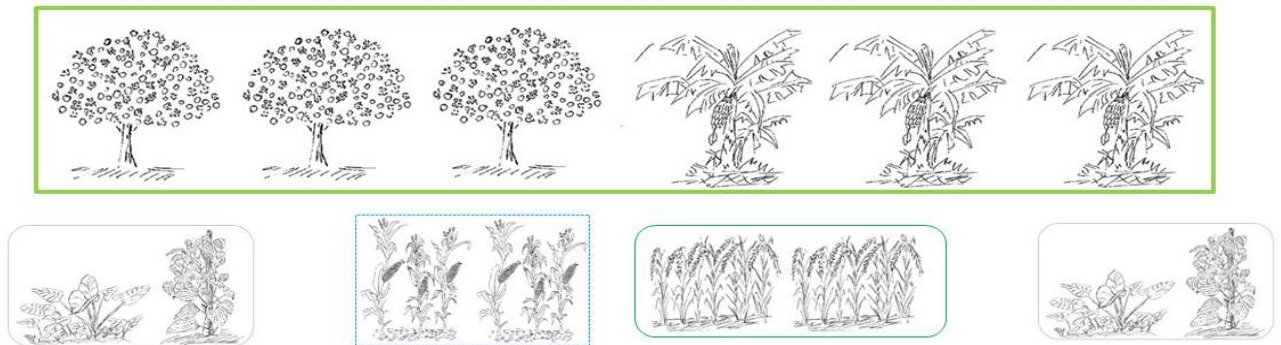


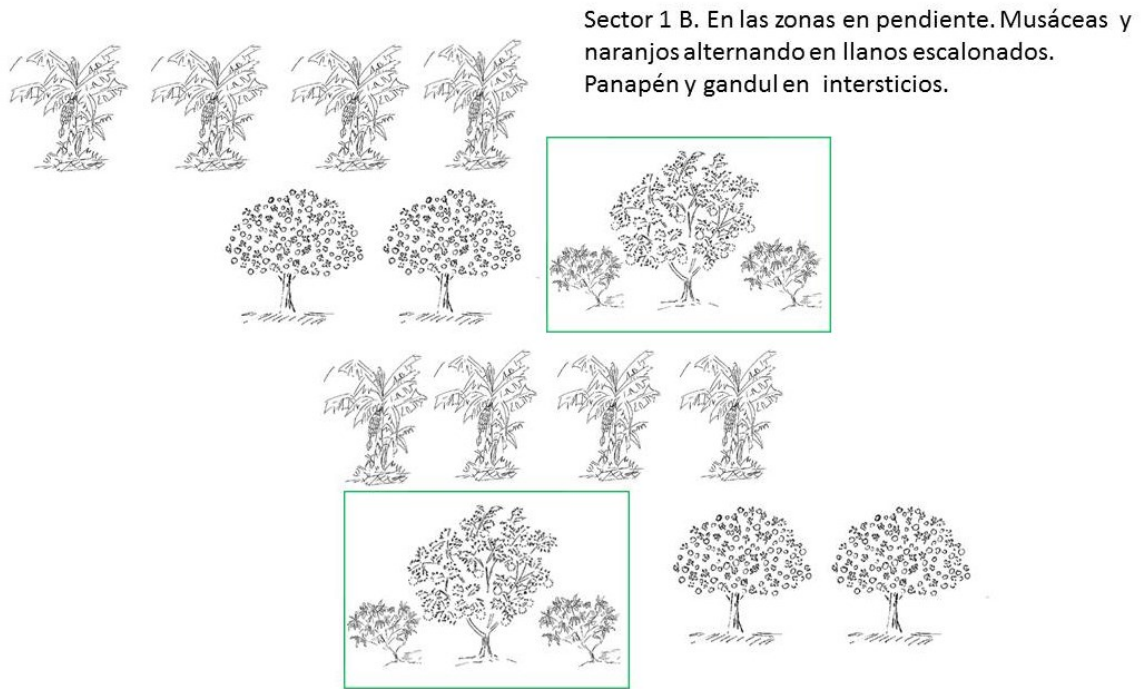
Figura 25 Combinación de especies en sector 1 en zonas llanas*



Sector 1 A. Naranja y musáceas alternando en franjas en zonas bajas, posible regadío ocasional. De forma dispersa, en intersticios del paisaje, yautía y ñame en zonas frescas, suelos profundos; maíz o arroz en zonas con posible regadío.

(*) La presente figura al igual que el resto de las propuestas de agroecosistemas que vienen a continuación, incluyendo los dibujos, han sido realizadas por A. Gómez Sal para este trabajo.

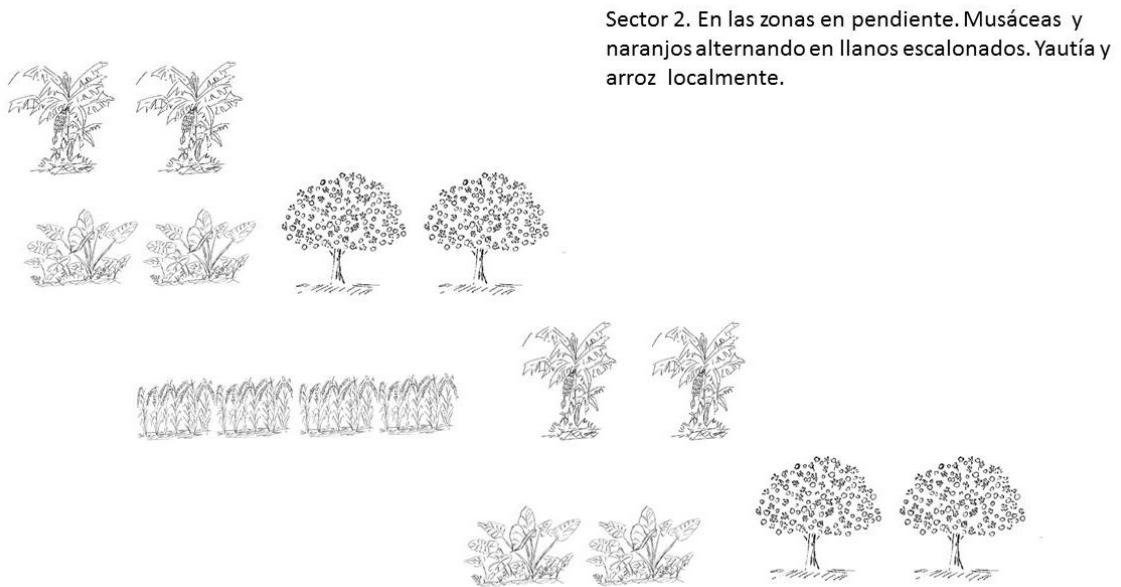
Figura 26 Combinación de especies en sector 1 en zonas altas



Los dos sectores del clúster A, presentan mínima aptitud para el café. Este hecho, junto con la escasa aptitud para el aguacate, es una característica diferencial de estos dos sectores (clúster A) respecto al resto de los sectores (clúster B).

El sector 1 ocupa una extensión amplia en la zona de relativa aridez (Fig. 24) en el sur del área de estudio, también en algunos enclaves en las llanuras del interior de suelos aluviales. El 2 muestra una distribución muy dispersa, asociada a 1; con un enclave de mayor extensión en la región costera del nordeste.

Figura 27 Combinación de especies en sector 2, zonas altas



Cluster B (Fig. 28)

El sector 5 muestra la mejor aptitud para el arroz entre los analizados, mientras que en los 3 y 4 la aptitud es baja para este cultivo. Un patrón parecido presenta respecto a naranja y musáceas. La aptitud para aguacate es media/alta en 3 y 4, y menor en 5. Respecto a yautía, maíz, panapén y gandul, la aptitud es similar en estos tres sectores (5,4 y 3).

Fig. 28 Sectores 3 - 7

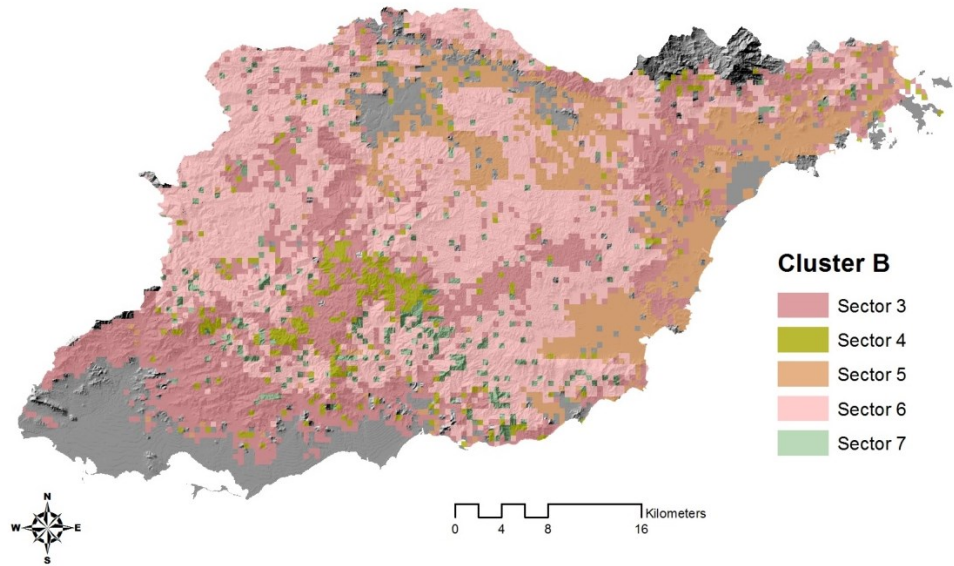
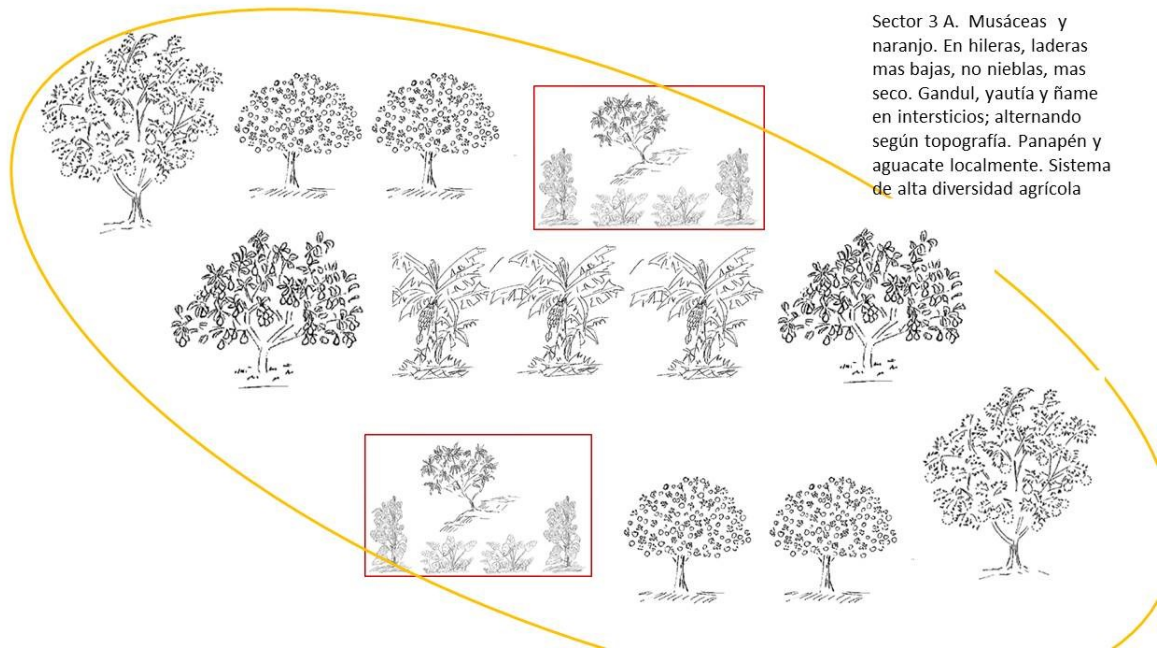


Figura 29 Combinación de especies en sector 3a



La principal diferencia entre 3 y 4, reside en la aptitud media de 3 para el ñame y nula en el 4; en segundo lugar la mejor aptitud de 4 para el café.

*Figura 30 Combinación de especies en sector 3b**

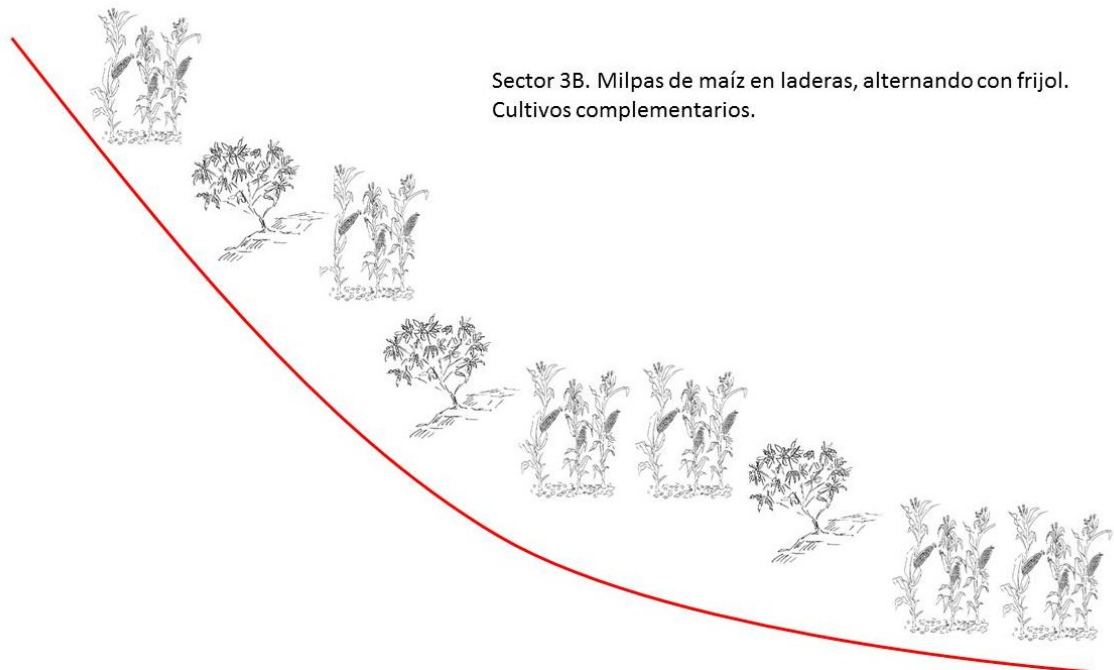
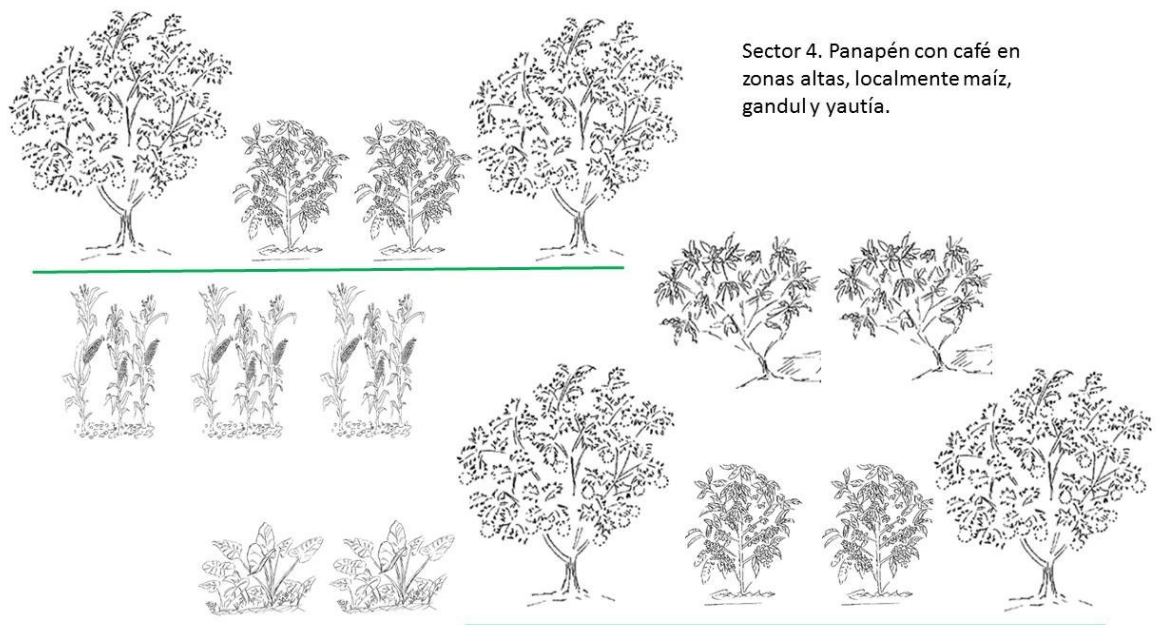


Figura 31 Combinación de especies en sector 4



El sector 5 son tierras llanas cercanas al litoral este y hacia el interior en el valle del Turabo. El 6 agrupa zonas onduladas/alomadas de transición entre las llanuras bajas y las zonas de montaña (sector 3). El 4 ocupa una superficie más o menos continua en el interior de la zona montañosa, mientras que el 7 aparece muy disperso principalmente en la ondulada zona 6.

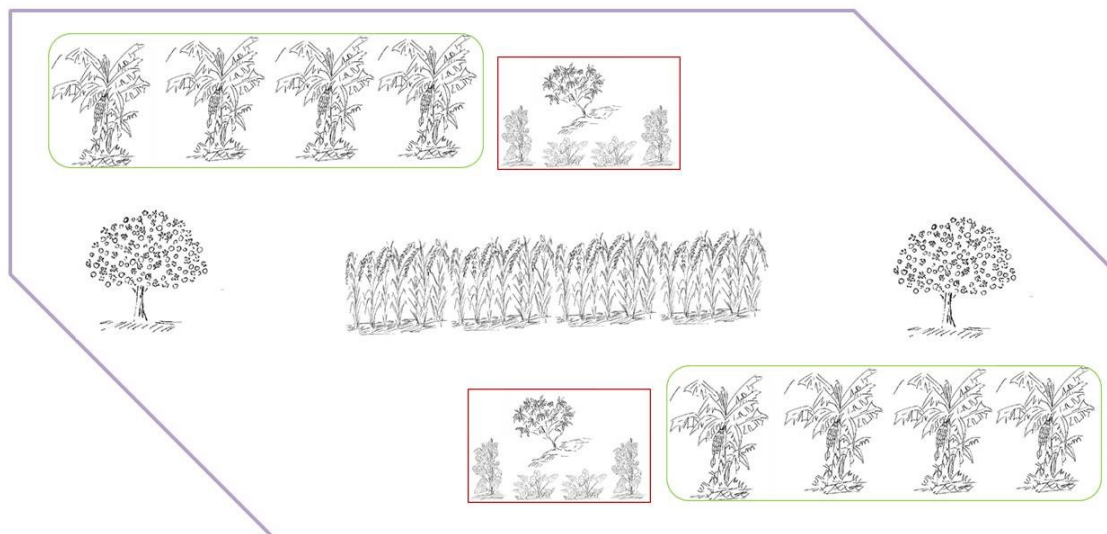
*Figura 32 Combinación de especies en sectores 5a, zonas bajas**



Sector 5 A. Llanuras en zonas bajas, arrozal con musáceas.

Figura 33 Combinación de especies en sector 5b, zonas llanas intermedias

Sector 5 B. Musáceas en zonas llanas intermedias, regables. Alternando con arroz. Gandul, yautía y ñame en intersticios; alternando según topografía. Naranja localmente.



Los sectores 6 y 7, tienen en común valores altos de aptitud para aguacate y yautía (≥ 4) y medios para el café (entre los valores 2 y 3), se diferencian en la buena aptitud para ñame en 6 y nula en 7. Los valores de aptitud para el resto de los cultivos son muy similares.

Figura 34 Combinación de especies en sector 6

Sector 6. Cafetal de sombra con arboles altos de aguacate. En laderas húmedas. La opción mas adecuada para cafetal. Posiblemente alternando con un dosel de arboles altos del bosque húmedo. Yautía y ñame en intersticios.

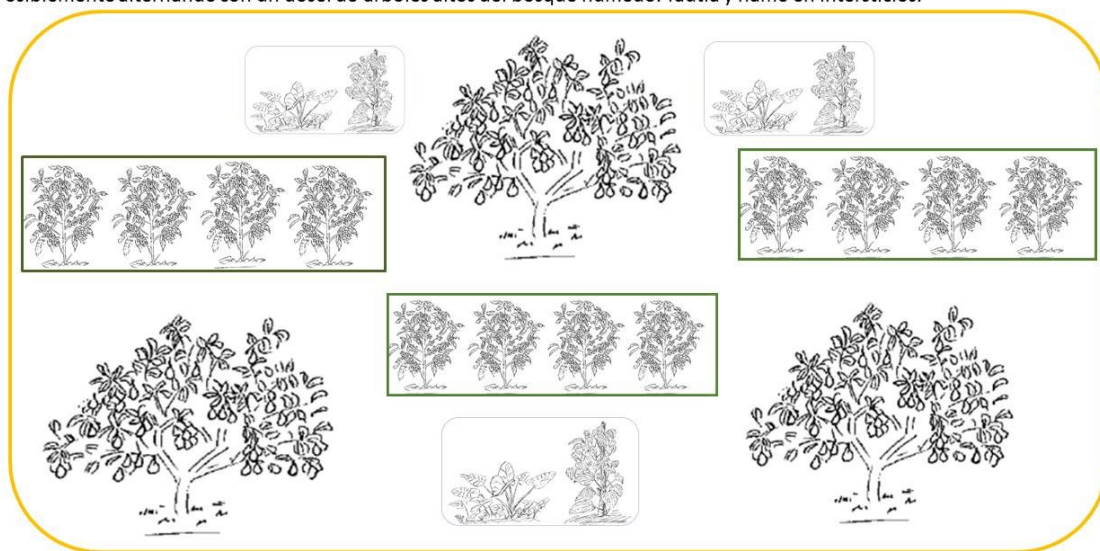
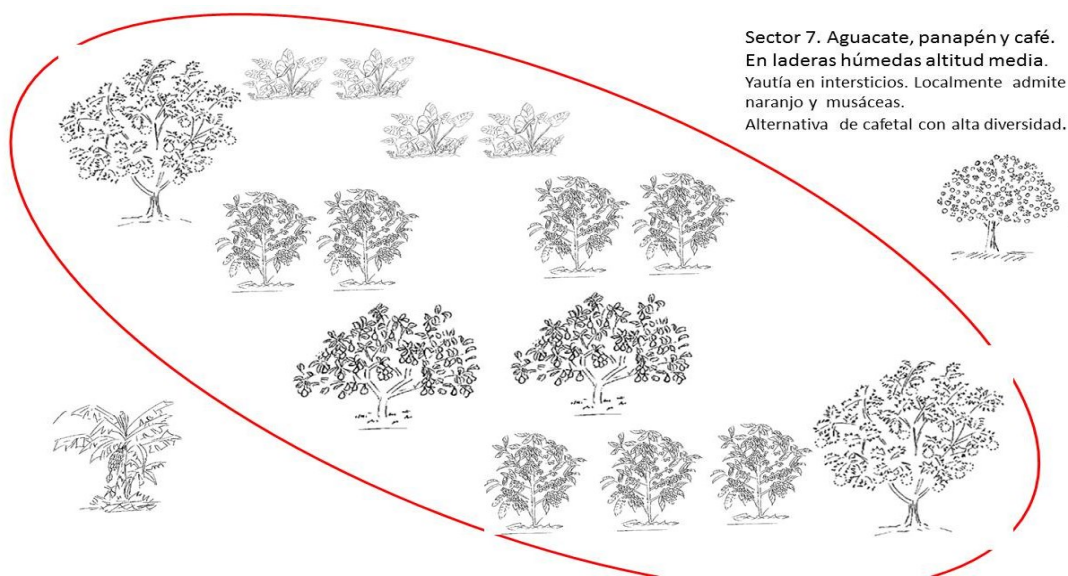


Figura 35 Combinación de especies en sector 7



Sector 7. Aguacate, panapén y café.
En laderas húmedas altitud media.
Yautía en intersticios. Localmente admite
naranja y musáceas.
Alternativa de cafetal con alta diversidad.

La aptitud nula para el café del clúster A, es la variable que mejor le diferencia del B. En segundo lugar la menor aptitud de los sectores del cluster A para aguacate y yautía, en comparación con los del B.

La relación de las especies cultivadas con los sectores. Comportamiento y valor indicador

El análisis del patrón o perfil de respuesta de las especies respecto a la aptitud de los distintos sectores para su cultivo (Figura 21) permite establecer algunas analogías.

En primer lugar panapén y gandul aparecen como las más indiferentes a la aptitud de los sectores para el cultivo, mostrando una idoneidad semejante en el conjunto de los sectores. Más homogénea o regular en panapén, ligeramente fluctuante en gandul. Ambos cultivos pueden actuar como un fondo de suministro común para el conjunto de la zona estudiada.

Como cultivos con mayor poder discriminante entre los dos clúster generales (A y B), se encuentran aguacate, café y yautía, con condiciones más idóneas en el grupo B; café inexistente en el A y aguacate escaso. El arroz y naranjo muestran un perfil de variación similar respecto a su nivel de aptitud en los distintos sectores. El maíz muestra una aptitud relativa algo mayor en 6 y 7; y las musáceas en el sector 5. El cultivo con diferencias más notables respecto a su preferencia por los distintos sectores es ñame, muy asociado a 5 y 6, claramente ausente en 7.

Las propuestas de combinación de especies están pensadas para que puedan convivir, ser compatibles con los ecosistemas naturales presentes en el área. El flujo de los servicios de regulación resultante de la implantación de nuevos agroecosistemas, debe ser similar al de los sistemas naturales preexistentes. Los servicios de aprovisionamiento deben aumentar y los servicios culturales deben ser manejados de manera que los agroecosistemas puedan insertarse en el paisaje siendo un elemento positivo para el turismo y otros usos recogidos en este grupo de servicios.

4 Conclusiones

4.1 Sobre el método utilizado y su uso potencial

Este trabajo propone una metodología que permite evaluar las posibilidades del territorio para ser ocupado por agro-ecosistemas en una región donde existe poca o nula actividad agrícola, pese al potencial agrícola del terreno. La intención es obtener un primer acercamiento hacia nuevos sistemas agrarios y formular estrategias agroecológicas que puedan ser coherentes y compatibles con los ecosistemas presentes, sin alterar su capacidad de prestar servicios diversos para el bienestar humano. La metodología expuesta en el capítulo es una referencia científica que puede ser útil para planificar agroecosistemas en áreas extensas como cuencas hidrográficas y regiones compuestas por varios municipios, como es el caso de Puerto Rico.

No obstante, la estructura definitiva del mosaico en una escala menor, debe ser determinada por el conocimiento local, clave para llevar este análisis a un segundo nivel y establecer tipos de agroecosistemas más ajustados a la realidad concreta. Combinando las necesidades del país con las posibilidades (sociales, culturales, ecológicas, productivas) de las zonas concretas donde se pretenden implantar. El trabajo pretende proponer una metodología sistemática, pero en la práctica, para que los resultados mejoren su adecuación a la realidad, promoviendo la diversidad y la semejanza con los sistemas naturales, haría falta incluir más especies agrícolas en el proceso. Esto establecería el estímulo hacia paisajes diversos de ecosistemas humanizados y cumpliría en gran medida los objetivos pretendidos.

4.2 Líneas de estudio abiertas para futuras investigaciones

Las próximas investigaciones para complementar esta base metodológica se pueden asociar a lo siguiente.

- Incluir más especies para expandir la oferta de productos, entre los cuales se integren sistemas agropecuarios y productos para la alimentación

animal. También deben ser incluidas especies forrajeras para ensilaje y arboles propios de sistemas agropecuarios.

- Extraer todos los usos de suelo ocupados por funciones no compatibles con las propuestas agroecológicas, como son las áreas naturales protegidas, áreas urbanas, redes hidrológicas y viales, vertederos, usos recreacionales, otros tipos de agricultura intensiva.
- Evaluar la propuesta de los agroecosistemas en función de otras actividades circundantes en el territorio.
- Evaluar escenarios de servicios de los ecosistemas y modelos de sostenibilidad eco-social de cada uno de los grupos de agroecosistemas, y establecer indicadores para monitorear que éstos no sean alterados negativamente y se mantengan los servicios identificados en la región.
- Establecer proyectos de agroturismo asociados a los agroecosistemas con el propósito de educar la comunidad e integrar la producción agraria a otras actividades que devenguen ingresos a la comunidad.
- Estudiar a fondo la interacción de las propuestas agroecológicas con las especies y ecosistemas con especial valor natural y amenaza sobre su conservación.

5 Bibliografía

- Aide T.M, Zimmerman J. K., Rosario M, Marcano H. 1996. Forest Recovery in Abandoned Cattle Pastures Along an Elevational Gradient in Northeastern Puerto Rico. *Biotropica*. 28(4a):537-548
- Altieri, M.A. ,1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture. Westview Press, Boulder ISBN-13: 978-0813317182
- Altieri M.A., 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad. ISBN: 9974-42-052-0
- Altieri M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 93, no. 1-3, pp. 1-24.
- Altieri MA & Nicholls CI., 2004. Biodiversity and pest management in agroecosystems. New York: Haworth Press pp. 252. ISBN 9781560229230
- Alvarez N., 2011. Agricultura ecológica y cambio de paradigmas. *80 grados*. 20 de agosto 2011. <http://www.80grados.net/agricultura-ecologica-y-cambio-de-paradigmas-2/>
- Benedetti M., 1998. Sembrando y sanando en Puerto Rico. *Colección puertorriqueña*. Verde luz editor. Pp. 343. ISBN13: 9780963344007
- Benton T., Vickery J., Wilson, J., 2003. Farmland biodiversity: is hábitat heterogeneity the key?. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol.18 No.4
- Carpenter S.R., Walker B., Anderies J.M., Abel N., 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what?. *Ecosystems* 4:765-781.
- Centro de Recursos Informativos Agrícolas de Puerto Rico, 2009. Presupuestos modelo para raíces y tubérculos. *Universidad de Puerto Rico*. CPR S181.U5 B6 NO.305
- Comas M., 2009. Vulnerabilidad de las cadenas de suministro, el cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación: el caso de las cadenas de suministros de alimento en Puerto Rico. *Disertación doctoral*. Universidad de Puerto Rico. Diciembre 2009.
- Cooperativa de conservación del paisaje del caribe 2016. Geospatial Data for PR. U.S. Government Data Catalog. <http://caribbeanlcc.org/geospatial-data/>

- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, ... van den Belt, M., 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387, 253-260.
- DA, 2015. Plan de Seguridad Alimentaria de Puerto Rico. *Departamento de Agricultura, Gobierno de Puerto Rico*.
<http://www2.pr.gov/Agencias/Agricultura/Documents/Temas%20de%20interes/PLAN%20SEGURIDAD%20ALIMENTARIA.pdf>
- Daily G. C., Alexander S., Ehrlich P. R.,... Woodwell G. M., 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural. Ecosystems. *Issues in Ecology* No. 2, Spring 1997.
- De Leo, G. A., Levin S. 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology* [online]1(1): 3.
<http://www.consecol.org/vol1/iss1/art3/>
- Engelman, R., LeRoy, P. 1995. Conserving Land: Population and Sustainable Food Production. Population and Environment Program. Population Action International.
- Eswaran, H., Beinroth, F., Reich, P., 1999. Global land resources and population supporting capacity. *American Journal Alternative Agriculture*, (v) 14, 3:129-136.
- FAO 2003. Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria. Editado por Nadia El-Hage Scialabba y Caroline Hattam. *Colección FAO: Ambiente y Recursos Naturales* N° 4, 280 pp.
- FAO 2007. The State of Food and Agriculture. *Agricultural Development Economics Division (ESA)*. www.fao.org/es/esa.
- FAO 2008^a. Panorama del Hambre en América Latina y El Caribe 2008. Informe Preliminar. *Observatorio Regional de Seguridad Alimentaria y Nutrición*.
<http://www.infoandina.org/site.shtml?x=24136>
- FAO 2008. The State of Food Insecurity in the World. *Agricultural Development Economics Division (ESA)*. www.fao.org/es/esa.
- FAO 2014. State of the World's Forest. Enhancing the socioeconomic benefits from forests. <http://www.fao.org/3/a-i3710e.pdf>
- Gliessman, S.R. 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Lewis/CRC Press. Boca Raton, FL.

- Gómez Sal, A. 1997. El paisaje agrario desde la perspectiva de la Ecología. En: *Ciclo de Agricultura y Ecología*. Fundación Bancaixa, Valencia, pp: 145-182.
- Gómez Sal, A. 2012. Agroecosistemas. En: Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas. Capítulo, 17. 60 pp.
- Gómez Sal, A. 2013. Sostenibilidad ecológica y dimensiones evaluativas en la agricultura. *Cuaderno Técnico SEAE*. Edita: SEAE, 73 pp.
- Gómez Sal, A. 2014. La escala del paisaje en la agricultura ecológica. *Agricultura y ganadería ecológica*. No. 17:46-47.
- Gómez Sal, A., González García, A., Velado, E. 2017. Los Eco-servicios de las Dehesas. *Informe sobre los servicios para el bienestar humano de las dehesas en Andalucía*. Fundación General UAH. Proyecto Life-Biodehesa. Junta de Andalucía. 131 pp.
- Gould, W.A., Alarcón, C., Fevold, B., ... Jiménez, Ventosa, E., 2008. The Puerto Rico Gap Analysis Project, v. 1, *Landcover, vertebrate species distributions, and land stewardship*: U.S. Department of Agriculture Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico, General Technical Report IITF- GTR-39, 165 pp
- Green R., Cornell S., Scharlemann J., Balmford A. 2005. Farming and the Fate of Wild Nature. *Science* Vol. 307, Issue 5709, pp. 550-555
DOI: 10.1126/science.1106049
- Greco, S., Tonolli, A., Studer, P.M, Filippini, M.F., Viani, M. 2015. La agroecología como eje rector en el proceso de enseñanza - aprendizaje. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. *V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA*. ISBN: 978-950-34-1265-7
- Kareiva, P., Watts, S. McDonald, R., Boucher, T. 2007. Domesticated nature: Shaping Landscapes and Ecosystems for Human Welfare. *Science*, 316: 1866-1869.
DOI: 10.1126/science.1140170
- León, S.T. 2012. Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas – la perspectiva ambiental. *Universidad Nacional de Colombia – Instituto de Estudios Ambientales*. 261 p. (en prensa)
- López E., Hidalgo R. 2010. Non-Metric Multidimensional Scaling. An Example with R Using SMACOF Algorithm. *Estudios sobre educación*. Vol. 18 pp 9-35.
- MA 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press*, Washington, DC . p. 137

- Medina, J., Castro, J. 2008. Estimado de terrenos de uso agrícola para sostener la demanda de la población de Puerto Rico al 2006. *Hoja suelta*. Puerto Rico.
- Myster R.W., 2012. *Ecotones Between Forest and Grassland*. Springer Science+Business Media New York. pp. 144
DOI 10.1007/978-1-4614-3797-0_6.
- NASS, 2008. 2007. Census of agriculture (preliminary report). United States Department of Agriculture.
- NRCS –USDA 2016 Soil Survey Geographic Database (SSURGO).
<https://data.nal.usda.gov/dataset/soil-survey-geographic-database-ssurgo>
- Oficina de Estadísticas Agrícolas 2015. Ingreso bruto de la agricultura de Puerto Rico. *Departamento de Agricultura (DA)*.
<http://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/estadísticas/Pages/default.aspx>
- Peck, H. 2005. Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35, 3/4:210.
- Pretty, J., Sutherland, M. J., Ashby, J., Auburn, J., Baulcombe, D., Bell, M., ... 2011. The top 100 questions of importance to the future of global agricultura. *International Journal of Agricultural Sustainability* v. 9, 1:1 –20.
- Power, A. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2959–2971
DOI:10.1098/rstb.2010.0143.
- Regíl-García H., Franco-Maass S., 2010. Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies agrícolas y forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Economía, Sociedad y Territorio*, Vol. IX, Núm. 31:803-830
DOI: 10.22136/est002009168
- Rodríguez Domínguez, P. 1990. Situación actual de la yerba venezolana en Puerto Rico. <http://academic.uprm.edu/rodriguezp/HTMLobj-94/yerbavenezolana.pdf>
- Robinson R. A., Sutherland W. J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.* 39:157–176.
Doi:10.1046/j.1365-2664.2002.00695.x
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A. 2009. Forest resilience, biodiversity, and climate change: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. *Technical Series*. no. 43:1-67.

- TEEB, 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar, London and Washington D.C., Earthscan.
- TEEB, 2015. *TEEB for Agriculture & Food: an interim report*. United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland.
- US Census Bureau 2012 . *Economic Census for PR*.
<https://www.agcensus.usda.gov/Publications/2012/>
- USDA Census of Agriculture 2012. *Municipio Profile*.
<https://www.agcensus.usda.gov/Publications/2012/>
- UNEP (United Nations Environment Programme), 2010. *Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials*.in: E. Hertwich, E., van der Voet, S. Suh, A. Tukker, M. Huijbregts, P. Kazmierczyk, M. Lenzen, J. McNeely, Y. Moriguchi, Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management, Paris.
- Wilson P., 2014. Farmer characteristics associated with improved and high farm business performance. *International Journal of Agricultural Management*. Volume 3 Issue 4. DOI: 10.5836/ijam/2014-04-02

Anejo A

Definición de los ecoservicios evaluados en función de los agroecosistemas (Gómez Sal & González García, 2017)

Alimentación	Productos para la alimentación humana generados en los agroecosistemas, procedentes de las plantas cultivadas, los animales domésticos y, en menor medida, de las especies de flora y fauna silvestres. Este servicio incluye dos aspectos a) la capacidad del sistema para producir materias primas (los especímenes criados o recolectados) y b) la capacidad de suministrar productos elaborados, competitivos en el mercado y demandados por la sociedad.
Agua dulce	Capacidad de captación y almacenamiento del agua procedente de los flujos epicontinentales y los acuíferos, así como su emisión hacia otros sistemas en condiciones de calidad
Materias primas de origen biótico	Materias primas de origen vegetal o animal no destinadas a la alimentación humana. Su utilidad incluye el vestido, la cosmética, el confort, la vivienda, entre otros destinos.
Materias primas de origen geótico	Materias de origen mineral extraídas o procesadas por utilidad para la industria (construcción, energía, química, etc.
Energía renovable	Aprovechamiento de los procesos geofísicos y biológicos generadores o ahorradores de energía. Incluye su almacenamiento y distribución en el agroecosistema y su posible canalización hacia el exterior.
Acervo genético	Mantenimiento y generación de la diversidad genética, entendida tanto en su calidad de legado (especies y ecotipos silvestres, razas ganaderas y variedades de plantas cultivadas) como de proceso, esencial para el funcionamiento del ecosistema.
Medicinas naturales y principios activos	Compuestos orgánicos con aplicaciones terapéuticas, utilizados por la industria médica y farmacéutica. Incluye el uso directo de las plantas en la medicina tradicional.
Regulación climática	Capacidad del ecosistema (vegetación, suelo, agua) para regular en una escala local (micro y mesoclimática) los efectos de los agentes meteorológicos.
Regulación de la calidad del aire	Capacidad del ecosistema (vegetación, fauna silvestre, ganado, suelo) y de los sistemas de producción (emisiones, ahorro energético) para influir de forma negativa o positiva en la composición del aire.
Regulación hídrica	Capacidad de los ecosistemas (vegetación, suelos) para favorecer la infiltración del agua y la funcionalidad de los sistemas fluviales (acuíferos subsuperficiales, vegas, suelos en laderas, cuencas)
Control de la erosión	Capacidad de mantener suelos estables, con estructura y composición adecuadas de evitar o amortiguar los efectos erosivos del manejo y de los agentes meteorológicos.
Fertilidad del suelo	Mantenimiento o regeneración de la capacidad productiva de los suelos, entendida como un resultado de la interacción de procesos físicos, biológicos y de manejo.
Regulación de las perturbaciones naturales	Mantener o restaurar la capacidad de respuesta de ecosistema frente a fenómenos naturales o de origen antrópico, con posibles efectos catastróficos.
Control biológico	Capacidad de controlar las plagas y patógenos que afectan a los cultivos y al ganado. Vinculada a los procesos de regulación relacionados con la biodiversidad, la estructura del agroecosistema y los sistemas de manejo.
Polinización	Procesos naturales y de manejo que propicien la actividad de los agentes polinizadores (principalmente insectos), con efectos tanto en las especies cultivadas como en las semidomésticas y la flora espontánea.
Conocimiento científico	Conocimientos generados a partir de la investigación científica (observación, muestreo, experimentación) sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Su calidad debe ser evaluable por el sistema científico internacional y sus resultados publicables en revistas internacionales del campo de conocimiento que corresponda.
Conocimiento ecológico local	Saberes sobre los recursos locales, las condiciones en que se generan y su utilidad. Proceden de la experiencia práctica sobre las posibilidades productivas que ofrece la naturaleza y la sostenibilidad de los distintos usos.
Identidad cultural y sentido de pertenencia	La interacción entre la naturaleza y los usos humanos origina el paisaje humanizado. En los agroecosistemas la organización física de sus componentes, así como determinados productos y formas de vida, pueden ser referentes de identidad cultural/antropológica.
Disfrute espiritual y religioso	Algunos paisajes agrarios incluyen elementos con significado espiritual o religioso para determinados grupos humanos. Asimismo, la estructura del paisaje y sus componentes (el agua, los árboles grandes, escenarios abiertos, etc), puede facilitar experiencias

	<i>individuales de tipo espiritual.</i>
Disfrute estético de los paisajes	<i>Determinadas cualidades de los paisajes agrarios (sus contenidos y organización) provocan sentimientos de afectividad y cercanía, otras por el contrario producen rechazo. Estas circunstancias pueden manejarse y constituyen la base para disfrute estético. El paisaje es una consecuencia relevante de los sistemas de manejo.</i>
Actividades recreativas y ecoturismo	<i>El atractivo del medio rural para la población residente y para los visitantes depende del manejo de los agroecosistemas. Sus productos, paisajes y las facilidades para su indagación o desciframiento, constituyen un atractivo para el turismo cultural, de naturaleza y deporte. Estas actividades contribuyen al bienestar y la salud.</i>
Educación ambiental	<i>Los agroecosistemas ofrecen múltiples posibilidades para desarrollar actividades de pedagogía ambiental (sistemas naturales, servicios de ecosistemas, sostenibilidad de los usos humanos). Formación, sensibilización, prácticas, dirigidas a distintos niveles de enseñanza y grupos sociales.</i>

*Capítulo VI. Planificación estratégica para la sostenibilidad:
experiencia en el Municipio de Caguas, PR*



Resumen

La aplicación de los elementos de desarrollo sostenible en las administraciones públicas debe tener en cuenta herramientas de gerencia para la toma de decisiones. La planificación estratégica figura como un instrumento útil para integrar los diferentes aspectos del desarrollo en los modelos adoptados para alcanzar, mediante acciones, los objetivos planteados. En este capítulo, se documenta el proceso de planificación estratégica en el Municipio de Caguas, Puerto Rico, en el cual se adoptan los modelos de gobernanza democrática y de sostenibilidad ecológica para establecer los lineamientos que pretenden estrategias de desarrollo sostenible a través de la participación pública. De esta manera se pudo poner en marcha un Plan Estratégico de Nueva Generación de fácil acceso a la ciudadanía, con las implicaciones culturales, de consenso público, dirigido a trasladar y hacer viable hacia la gestión pública un modelo de Sostenibilidad Ecológica para el desarrollo.

Abstract

The application of sustainable development elements in political administrations must take into account management tools for decision making. Strategic planning is a useful tool to integrate different development aspects into the models adopted to achieve, through actions, the objectives. In this chapter, the strategic planning process is documented in the Municipality of Caguas, Puerto Rico, in which democratic governance and ecological sustainability models are adopted to establish guidelines for sustainable development strategies through public participation. In this way, a Strategic Plan of New Generation with a simple language and easy access to citizenship, along with cultural implications and public consensus, was achieved to make feasible towards public management of the ecological sustainability.

Palabras clave: *Planificación estratégica, sostenibilidad ecológica, gobernanza democrática*

1. Antecedentes

1.1. El contexto actual del desarrollo y su repercusión a la sociedad de Puerto Rico

Globalización, nuevas exigencias para la gestión pública

El proceso de globalización al que asistimos desde hace varias décadas ha transformado de manera profunda la concepción del desarrollo y las formas para acceder al mismo. Así mismo, ha resultado en un fortalecimiento del papel de los gobiernos locales y regionales en la promoción del desarrollo (Ospina, 2001). La globalización como fenómeno asociado casi de forma inevitable al desarrollo tal como se entiende en la actualidad, ha acercado el mundo a través del intercambio de productos, información, conocimientos y cultura. Esta integración y conexión mundial ha cobrado velocidad debido a los avances sin precedentes en la tecnología, la ciencia, el transporte y la industria. Si bien la globalización es a la vez un catalizador y una consecuencia del progreso humano, es también un proceso caótico, impredecible en muchos aspectos, que requiere ajustes y plantea desafíos y problemas importantes (Maradiaga, 2016).

Entre las tendencias globales se menciona en primer lugar, la apertura de mercados y fronteras, así como procesos de producción, consumo y financiamiento. La segunda tendencia es la revolución en el campo de la informática y las comunicaciones, su impacto en la producción de bienes y servicios, así como en los procesos de toma de decisiones en organizaciones públicas y privadas. Otras tendencias son las restricciones económicas y presupuestarias que han obligado a repensar la forma de ejercer el gobierno, aumentando la presión de la opinión pública para mejorar la eficiencia y la transparencia en el funcionamiento de las instituciones. La cuarta tendencia es el reconocimiento del carácter obsoleto de las burocracias centralizadas públicas y la exigencia por parte de la sociedad civil, para lograr unidades políticas (de gestión pública) más cercanas a la gente y a las comunidades. Se trata en definitiva de la necesidad de transformar el Estado para responder a las requisitos y expectativas de la sociedad del siglo XXI (Peters y Pierre, 2005).

Situación general de desarrollo económico y social en Puerto Rico

Puerto Rico, en muchos aspectos y en la práctica, es una colonia de los Estados Unidos pese a que desde 1952, su estatus se reconozca como “Estado Libre Asociado”. Se trata de un territorio con autogobierno limitado que posee una constitución para el manejo de sus asuntos internos, pero cuya soberanía la ejerce el Congreso estadounidense. Sin embargo, a pesar de que la Isla es un territorio de soberanía estadounidense, no está integrada a sus leyes como un estado más, no forma parte de dicho país al momento de acceder, por ejemplo, a un recurso de la legislación federal, como es la posibilidad de declararse en bancarrota para obtener protección legal ante sus prestamistas, pese a que sigue subordinada a las políticas financieras de EEUU (Pascual-Marcias, 2016).

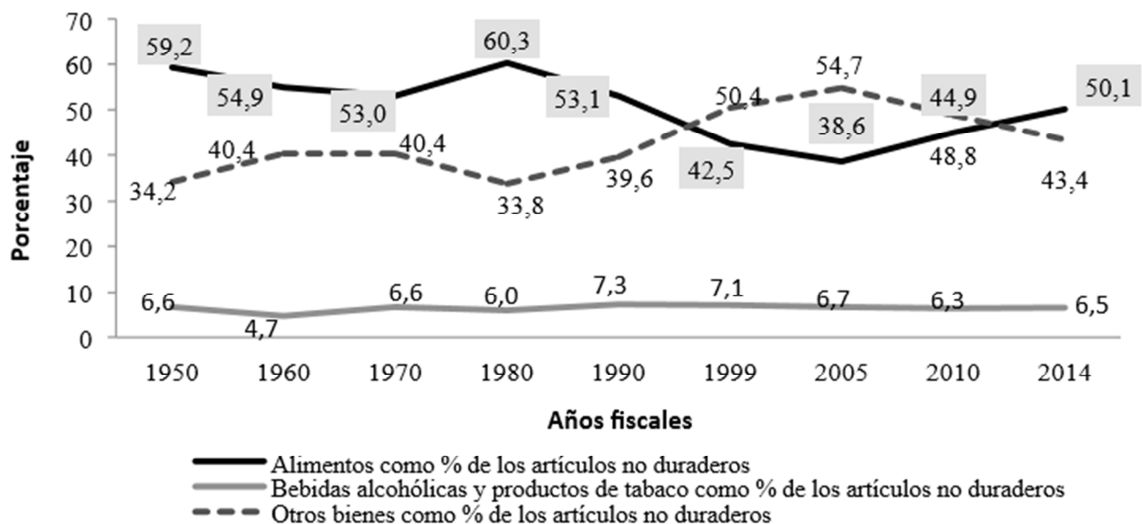
Para poner en perspectiva el escenario al que se enfrentan los municipios en Puerto Rico -como administración básica para la planificación estratégica local-, es necesario aportar algunos datos sobre su situación socioeconómica. La sociedad de Puerto Rico se ha visto en la obligación de afrontar una situación de cambio económico estructural tanto a escala nacional, como en términos de la economía global. No obstante, el país está lejos de alcanzar consensos que permitan definir estrategias de desarrollo y gobierno en forma conjunta (Bram *et al*, 2008). Desde la eliminación en 1996, de los programas de incentivos a la manufactura (Sección 936 del Código de Rentas Internas Federal [de los EEUU]), que ayudaba a impulsar la economía en Puerto Rico, comenzó un proceso de pérdida de empleos y de ingresos en el país, que tuvo impactos severos en la composición de su base laboral (Jiménez, 2015).

Actualmente, cientos de miles de familias (cerca del 50% de la población del país) reciben ayudas gubernamentales, la mayoría de ellas otorgadas por el gobierno de los EEUU (Fajardo, 2015). Estas ayudas recibidas de los gobiernos federal y estatal desestimulan la incorporación de muchas personas a la actividad laboral en la Isla. Según el Instituto de Estadísticas de Puerto Rico (2016), la tasa de participación laboral está cerca de 40%. La situación se agrava cuando desde la

sociedad se ejerce presión sobre los partidos políticos para que estos subsidios se mantengan. Claramente esto sobrecarga al ciudadano que devenga ingresos del trabajo y rinde cuentas a través del sistema contributivo. Economistas y sociólogos coinciden en señalar que el problema de sociedad subsidiada y la falta de estímulos para un desarrollo autónomo se deben a la relación colonial entre Puerto Rico y EEUU (Cabán, 1988; Gautier, 1990; Rodríguez-Gelfenstein, 2004).

Esta situación se ha agravado en las últimas dos décadas a partir de los cambios en la estructura económica, el incremento de la deuda pública y las tendencias que han desalentado la producción en el país (Dalmau, 2015). La falta de bases sólidas de producción local ha promovido que la situación de dependencia de recursos externos se mantenga (Fig. 1).

Figura 1 Alimentos, bebidas alcohólicas y otros bienes importados como porcentaje de artículos no duraderos importados (Vázquez, 2016)



Frente a esta situación, depresión económica, sociedad subsidiada y dependencia en los suministros, es necesario encaminar con más fuerza los cambios en la cultura ciudadana dirigidos a dejar a un lado dicha dependencia estructural en la que el País se encuentra (Quiñones, 2014).

En los últimos años, dos grandes obstáculos parecen dificultar la construcción de una sociedad civil más vital y participativa en Puerto Rico. Por un lado, la existencia de una cultura política adversativa que limita los espacios para la concertación entre las perspectivas diversas y obstruye la posibilidad de articular una agenda ciudadana desde ámbitos estrictamente cívicos, no gubernamentales. Por el otro, la supervivencia de viejos paradigmas de gestión pública que, como fruto de una herencia colonial que persiste, obturan el lugar del ciudadano e insisten en infantilizarlo más que reconocerle su lugar de actor político. Esta situación favorece la primacía del político profesional y del funcionario público por encima de la ciudadanía (Carrasquillo, 2009).

Gobernanza democrática y sostenibilidad.

En un mundo donde los gobiernos locales son cada día más autosuficientes, las ciudades han adquirido gran importancia en el desarrollo socioeconómico de los países. Siendo el órgano gubernamental más cercano a los ciudadanos, la alcaldía es el ente indicado para canalizar sus aspiraciones y necesidades en la toma de decisiones (Sosa, 2007). De esta forma los procesos de gobernanza democrática y planificación para la sostenibilidad son apropiados para conducirse desde los gobiernos locales.

Según las ONU (2015), la gobernanza se considera buena y democrática en la medida en que las instituciones y procesos de cada país o administración sean transparentes. La buena gobernanza promueve la equidad, la participación, el pluralismo, la responsabilidad y el estado de derecho, en un marco de transparencia que sea efectivo, eficiente y duradero. Llevando estos principios a la práctica, se es testigo de elecciones frecuentes, libres y limpias, parlamentos representativos que redactan leyes y proporcionan las visiones del conjunto de la sociedad, el pluralismo, y un sistema jurídico independiente para aplicar dichas leyes. Una sociedad que aspira a adaptarse a los cambios globales y manejar sus recursos naturales y humanos de manera coherente, asegurando el flujo de servicios hacia las comunidades (definidas como grupos de ciudadanos residentes en sectores o

barrios, comerciantes, grupos religiosos o que comparten intereses similares), debe adoptar los parámetros de la gobernanza democrática (Altomonte & Sánchez, 2016).

Por otro lado, en las últimas se décadas, la visión del desarrollo económico local se ha incorporado al debate general sobre desarrollo económico con diversas aportaciones que, en lo esencial, destacan cuatro grandes ámbitos de análisis: i) el capital natural, atención cada vez mayor al medio ambiente y los recursos, incluyendo naturales y culturales ii) el capital social, es decir, la importancia del fortalecimiento institucional y social, la revitalización de la sociedad civil y el fomento de la participación de las comunidades locales; iii) el capital humano, mediante la mejora del acceso a la educación, capacitación, nutrición y salud, así como el fortalecimiento del papel de la mujer en la sociedad y por ultimo iv) las dimensiones microeconómica y territorial del capital económico. Esto incluye entre otros aspectos, las infraestructuras facilitadoras del desarrollo, los servicios de apoyo a la producción (financieros y asesoramiento a las empresas) y el fomento de la innovación productiva y empresarial (CEPAL, 2001).

El enfoque de sostenibilidad para el uso de los recursos y la gestión de los procesos productivos es crucial para asegurar el flujo de servicios y el desarrollo económico en la escala local, garantizando que el capital natural utilizado podrá mantener una continuidad y no un desgaste irreversible. (Salcedo-Aznal, 2014).

Evaluación de la sostenibilidad

En los países latinoamericanos y del Caribe se está adoptando en general una posición proactiva frente a los problemas que afectan los recursos naturales y humanos en la escala local. Se trata de prepararse para afrontar las consecuencias de los cambios globales, mediante la evaluación de las políticas públicas, ya sea recursos del país o con la colaboración de organismos internacionales. Ejemplo de estos esfuerzos es el Proyecto ESAC (Evaluación de la Sostenibilidad en América Latina y el Caribe) el cual desarrolló un marco integrado para la medición y evaluación del progreso de los países de la región hacia el desarrollo sostenible, basado en el concepto de sistema socio-ecológico (Gallopín, 2006). Otros países como Canadá, Nueva Zelanda, Suecia, Reino Unido y España han establecido sus

propios indicadores de evaluación para abarcar los avances en sostenibilidad y establecer directrices hacia el mejor escenario posible (Quiroja, 2007). Un apoyo a la evaluación, para ciudades y comunidades, consiste en establecer escenarios meta con los que contrastar la situación actual. Estos escenarios pueden incorporar la adaptación a los cambios globales y el avance a los objetivos de desarrollo establecidos.

Planificación estratégica como herramienta al servicio del desarrollo

La planificación estratégica es considerada como una gestión organizativa en la que se integran las expectativas y proyecciones de una entidad (administración, empresa), aplicable tanto en el ámbito privado como de gestión pública. Sirve como instrumento para orientar la gestión institucional, una especie de “carta de navegación”, basada en un proceso previo de reflexión, análisis y debate, en el que se hacen explícitas las metas y estrategias que finalmente darán lugar a Planes y Proyectos. La planificación estratégica nace en el contexto de la actividad empresarial, tratando de establecer objetivos y definir los procedimientos adecuados para alcanzarlos (Eyzaguirre, 2006).

También ha sido empleada en la gestión pública para organizar los recursos en función de las prioridades establecidas para un periodo determinado. En el caso de las ciudades, se ha definido como “*metodología de trabajo que parte de una reflexión de la realidad actual de una ciudad o de un territorio para llegar a un consenso entre agentes de desarrollo y ciudadanía sobre el modelo de ciudad futura y los medios para transformación deseada*” (Diputación de Barcelona, 2015).

1.2. El municipio de Caguas, un ensayo para el avance hacia la sostenibilidad y la democracia participativa

El proceso de avance hacia la sostenibilidad implantado en Caguas surge como respuesta a la problemática de desarrollo antes comentada, la dependencia de los recursos externos y falta de autonomía local para mejorar en la gestión de los recursos. La iniciativa fue posible gracias al alcalde William Miranda Marín, quien gozó de un amplio respaldo social. El planteamiento de la Administración Municipal

fue simple: *las crisis estructurales necesitan reformas estructurales basadas en criterios científicos y modelos de gobernanza democrática y sostenibilidad* (Miranda, 2009). Para lograr los acuerdos sociales fue necesario concertar consensos y estipular procesos formales de gobernanza democrática. Estos consensos estaban basados en *“el desarrollo humano, la democracia participativa, el conocimiento técnico y científico, las alianzas multisectoriales, una nueva cultura de empresarismo comunitario, ética solidaria, una nueva relación con la naturaleza y nuestro orgullo de ser criollos y puertorriqueños”* (Mensaje de Logros, 2011). Con una idea de largo alcance, se trataba de que la experiencia de Caguas – la segunda ciudad del país en población- actuase como modelo para el desarrollo de otros gobiernos locales y el estatal en Puerto Rico (Santana Rabell *et al*, 2007).

Evolución de la planificación estratégica en el Municipio de Caguas

En el proceso iniciado por el ayuntamiento de Caguas, la planificación estratégica se definió como un proceso *“interactivo y participativo que contempla visualizar el futuro de una comunidad, identificar problemas prioritarios, establecer las metas y acciones pertinentes para alcanzarla. Este proceso implica efectuar un análisis riguroso de las decisiones de partida (ambiente externo e interno) para formular estrategias de futuro más adecuadas”*. Esta tarea se efectuó en Caguas y sus estrategias definidas junto con la ciudadanía fueron organizadas teniendo en cuenta los distintos componentes de la sostenibilidad.

El primer plan estratégico de Caguas, durante la década del 2000, se intentó llevar a cabo por los funcionarios de la Administración Municipal, al ser el primero, y no contar con experiencia previa, la participación ciudadana no fue abarcada adecuadamente, tampoco la integración de las comunidades. El resultado fue de mucha controversia y una vez se hizo público no fue de gran alcance (Rodríguez, 2009). Como aspecto positivo, se logró determinar un esquema de Valores, Visión y Misión, que permitió un avance hacia un plan más efectivo. A finales de esa década comenzó la delineación de un segundo plan, esta vez integrando los elementos de

gobernanza democrática y de sostenibilidad. Se le llamo el Plan Estratégico de Nueva Generación de la Ciudad de Caguas (PENG-C).

En este segundo intento se incorporaron consultores que colaboraron a establecer una visión sobre los enormes retos que plantea la economía global y como la ciudad de Caguas puede proyectarse en función de estas dinámicas. A través de grupos focales se integraron las recomendaciones de los diversos sectores, como entidades comunitarias, empresarios, educadores, médicos, arquitectos, ingenieros, economistas, grupos ecuménicos entre otros.

1.3. Objetivo general

El objetivo de este capítulo es establecer una metodología de planificación estratégica para incorporar las dimensiones de sostenibilidad eco-social en los objetivos y estrategias de desarrollo en la escala local (administración municipal o de comunidades).

Para ello se toma como referencia y se revisa de manera crítica el proceso planteado en la ciudad en Caguas desde 2009 a través del ejercicio de gobernanza democrática. La autora de esta tesis ha sido Directora de la Unidad de Planificación Estratégica del Municipio de Caguas y coordinadora de los procesos y elaboración del Plan Estratégico de Nueva Generación. Esto, luego que D. Leslie Rodríguez, Director anterior de la Unidad de Planificación Estratégica del Municipio de Caguas, diera comienzo a los procesos de planificación junto con los funcionarios y colaboradores del Municipio y comunidades locales.

2. Métodos: la definición de un programa estratégico para el desarrollo local

2.1. Área de aplicación: Municipio de Caguas

El Municipio de Caguas está ubicado en el área centro oriental de Puerto Rico (Figura 1). También conocida “La Ciudad Criolla”, a los residentes en ella se los conoce como “cagüeños” o específicamente “criollos”, siendo este un término que en Puerto Rico es exclusivo para Caguas. Fue fundada en 1775 en el Valle del Turabo. Su nombre procede del Gran Cacique Caguax, que regía estas tierras, siendo segundo en jerarquía en la Isla de Boriquén a la llegada de los españoles en 1493. El extremo oriental de la Cordillera Central, rodeado por las sierras de Cayey, sirve de hogar a Caguas. La ubicación y límites pueden verse en la Figura 1. Su superficie es de 152.1 km². El municipio está organizado, territorialmente, en once barrios, incluyendo el Pueblo, el centro administrativo y principal del municipio (Fig. 1).

Su densidad poblacional es de 955.1 personas por km². Pese a pérdida de población experimentada en Puerto Rico en los últimos años, Caguas ha mantenido una población estable y en el 2010 aún presentaba crecimiento (Tabla 1). Los ecosistemas de Caguas son diversos, el municipio está surcado por cinco ríos, algunos afluentes del embalse Carraízo, los ríos Cañas, Bairoa, Cagüitas, Turabo y parte del Río Grande de Loíza.

Figura 2 Localización de Caguas, Puerto Rico y sus barrios

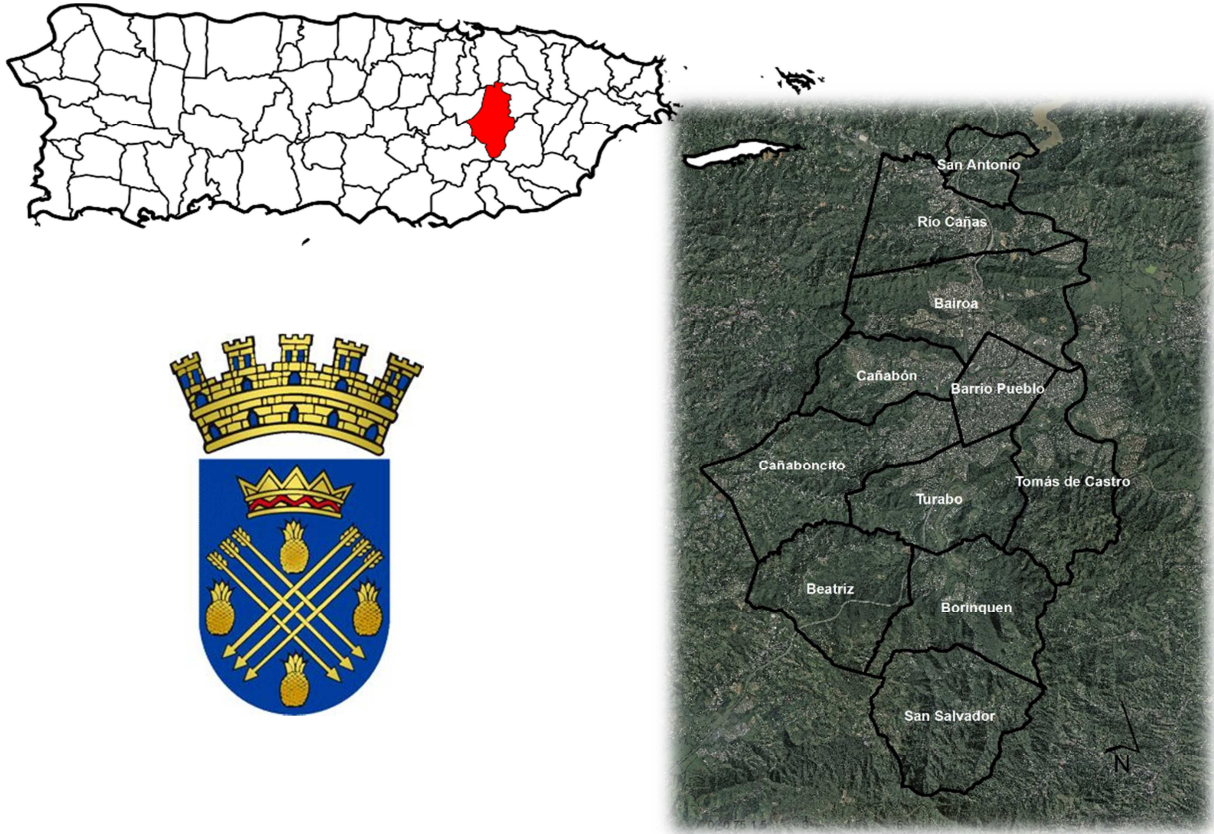
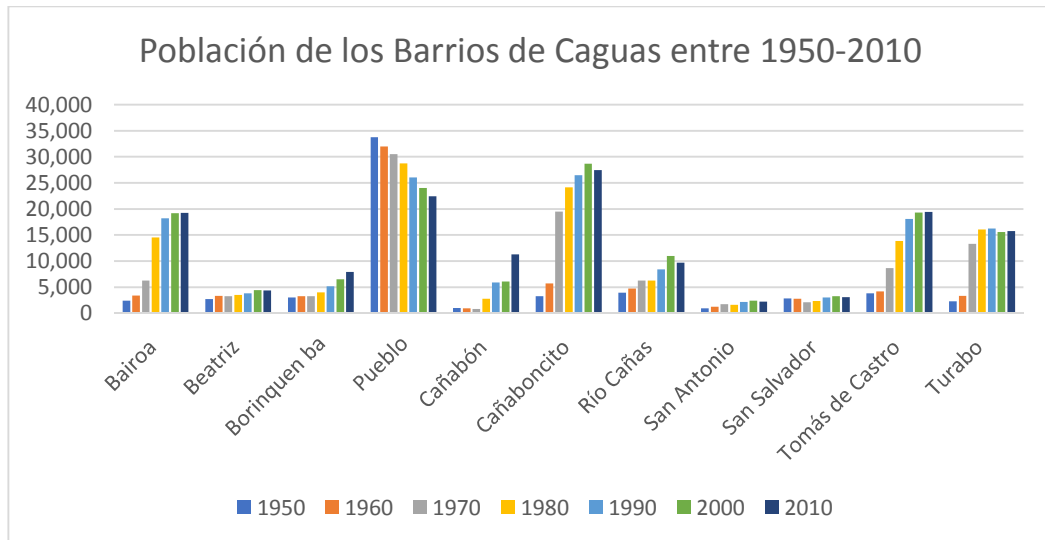


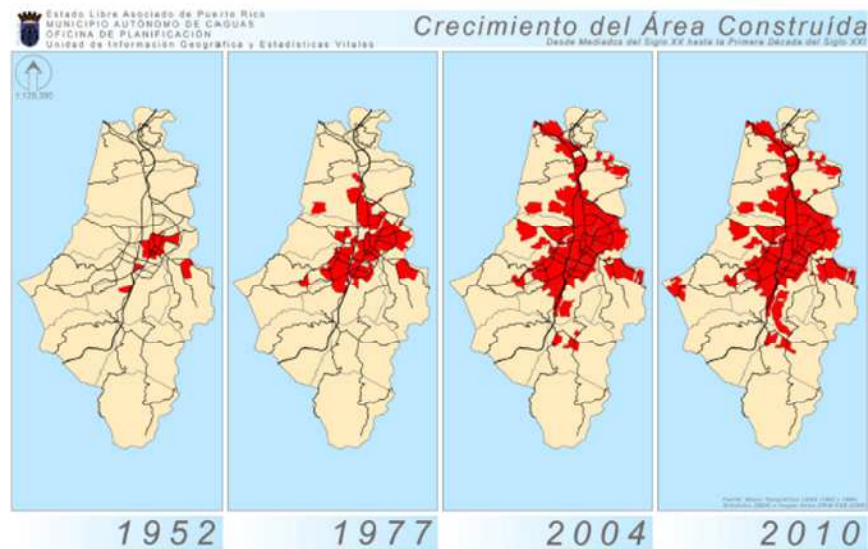
Tabla 1 Población Total por Municipios y Barrios, Censos de 1950 al 2010



Fuente: Negociado del Censo federal, Censos de Población de Puerto Rico, Años: 1950-2010; y Junta de Planificación, Programa de Planificación Económica y Social, Oficina del Censo. (Census Bureau, 2012)

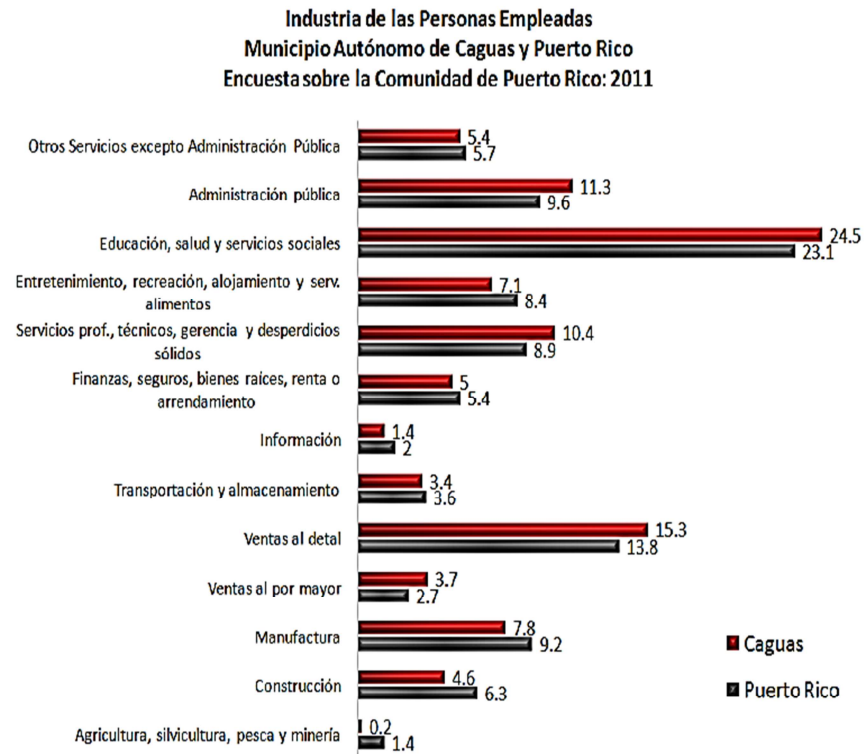
Las décadas de 1950-60 y 1960-70 marcan una inflexión en cuanto al desarrollo urbanizado de la ciudad que dura hasta la presente época. La cercanía a San Juan, la capital del país, las redes viales y la topografía del valle han contribuido a la expansión urbana e importancia actual de Caguas, aunque su situación en un enclave estratégico de comunicaciones y la fertilidad del valle, definieron a Caguas como núcleo importante desde su fundación, a pesar de su situación interior, alejada de la costa.

Figura 3



Según la encuesta de Comunidad administrada por la Oficina del Censo de los Estados Unidos, en el 2014 el Ingreso per Cápita de la población se estimó en \$24,173. La economía de Caguas es diversificada. Como se ha comentado en el capítulo V, a partir de la década de 1950 en Puerto Rico se abandona la agricultura y la manufactura se convierte en el principal sostén económico. Posteriormente las empresas de servicios, el comercio y la administración pública ocupan espacios importantes en la economía local (Fig. 3).

Figura 4



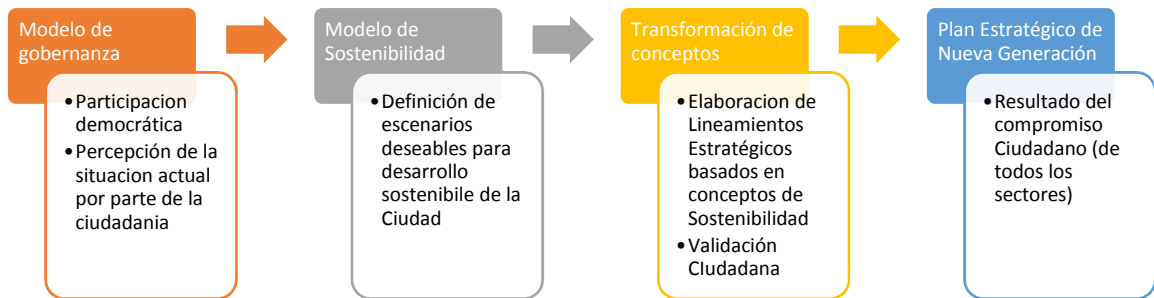
En el 2010, el Municipio de Caguas fue reconocido como una de las 50 mejores ciudades del mundo para vivir. Sus mejoras en el paisaje construido y la defensa del patrimonio, así como sus prácticas ambientales, su férrea defensa del arte y cultura, entre otras iniciativas, le valió tal galardón del certamen “*International Liveable Communities Award*”, de la Organización de las Naciones Unidas (Primero Hora, 2010).

2.2. El proceso de planificación estratégica de Caguas

El proceso de planificación estratégica se llevó a cabo en varias fases. Se utilizaron dos modelos principales para alcanzar los resultados de los objetivos definidos. El modelo de gobernanza (Pascual Esteve, 2009) y el modelo de para la evaluación multicriterio de la sostenibilidad –MSE- (Gómez Sal, 2001) –

incorporando como escenario deseable el denominado por el autor como “sostenible sensato” o de sostenibilidad o eco-social” (Gómez Sal, 2004, 2014) figuraron como referencias clave en los procesos de la confección del Plan y sus objetivos.

Figura 5 Fases del Plan Estratégico de Nueva Generación



Primero, el *modelo de gobernanza* posibilita el desarrollo de un ambiente colaborativo entre el gobierno y la ciudadanía. Este modelo se pudo resumir en un conjunto de principios básicos que fueron desarrollados e implementados en Caguas (Torrech, 2009).

1. La gestión del gobierno debe ser abierta a la ciudadanía. Esa apertura debe fomentar todo tipo de alianzas entre el gobierno y la ciudadanía, en relación con los propósitos convenidos en el plan estratégico.
2. La ciudadanía tiene un rol importante en la planificación estratégica del gobierno, en la gestión de sus proyectos y en la evaluación de su desempeño.
3. El desarrollo de un nuevo concepto de servidor público como aliado y colaborador de la iniciativa ciudadana. Las colaboraciones deberán fundamentarse en un sentido de responsabilidad tanto de la ciudadanía como de las comunidades, organizadas en asociaciones, para lograr una obra de gobierno permanente.
4. La participación del sector empresarial, como parte de esa ciudadanía mediante responsabilidad social empresarial para las comunidades,

acatando las decisiones recogidas en los lineamientos de desarrollo sostenible local, plasmados en un plan estratégico.

5. Valorar y fortalecer el voluntariado ya que los esfuerzos de las asociaciones se ejemplifican el liderato comunitario.

A partir de estos principios se estudiaron varios modelos de Desarrollo Sostenible con objeto de decidir los criterios y metas de sostenibilidad que pudieran ser aplicados al Municipio de Caguas. El *Modelo de Sostenibilidad Ecológica* (eco-social) (MSE) ya mencionado se seleccionó por contener una definición amplia y multidimensional sobre elementos de la sostenibilidad que además de abarcar los aspectos ecológicos, sociales y económicos (comúnmente asociados de manera poco crítica al concepto de desarrollo sostenible –Naredo, 1996, Gómez Sal, 2009), también define como componentes básico, las perspectivas cultural y ética que son de alta importancia para la administración municipal, así como el “sistema de producción” (administración, planificación) como referencia básica. En particular interesa a la visión jerárquica entre estas “dimensiones” que pasan a ser piezas de un engranaje con efectos derivados y conflictos entre las mismas. También son conceptos de alta aplicabilidad para la escala de comunidad (Ver Secc. 2.5)

Una vez escogido el modelo y los procedimientos de evaluación que establece, se definieron los enlaces entre las problemáticas que fueron identificadas por parte de las comunidades, primera fase del proceso de participación, (Tabla 2) y el proceso de evaluación desde el MSE (Tabla 3), a través del establecimiento de conceptos intermedios que permiten avanzar desde las problemáticas (y en caso necesario los indicadores de las mismas) hasta las dimensiones evaluativas del modelo, mediante un procedimiento ascendente de abajo a arriba. Estos conceptos intermedios son los criterios que agrupan problemáticas/indicadores y los componentes que agrupan criterios. Los resultados de esta evaluación organizada de acuerdo con las dimensiones del modelo, ayudaron a definir los lineamientos estratégicos. Los mismos sirvieron de plataforma para la posterior definición de unas metas, objetivos y acciones basadas en los lineamientos y que posteriormente fueron también objeto de la validación ciudadana (segunda fase de participación).

Gestión del Proyecto: Los Comités de Trabajo

Los procesos de análisis para alcanzar los objetivos del Proyecto incluyen la Gerencia y la Coordinación, también el tratamiento los temas técnicos, el financiamiento y la divulgación adecuada de la información a las comunidades. Con la intención de organizar estos procesos, se crearon tres comités: promotor, técnico y ejecutivo.

En el Comité Promotor participaron ciudadanos de diversas corrientes de opinión política, profesiones, y representantes del gobierno, las entidades privadas, cívicas y comunitarias. Estos fueron representantes clave con capacidad de acción y decisión para impulsar procesos. Generaron consensos en cuanto a los valores, la visión, la misión y los lineamientos estratégicos comunes. Así mismo, evaluaron los recursos comunitarios como áreas comunales y voluntariado. También, colaboraron en la reflexión para definir objetivos específicos y acciones viables para lograrlos. En total el Comité Promotor estuvo constituido por veintitrés miembros, además del personal de la Unidad de Planificación Estratégica del Municipio de Caguas que actuó como facilitadores del proceso. También participaron diez empleados municipales de los departamentos Autogestión Comunitaria, Desarrollo Económico, Desarrollo Humano, Oficina Integral de la Mujer, Educación Municipal y Oficina de Planificación. De igual manera once representantes de comunidades organizadas de áreas rurales y urbanas que trabajan en la conceptualización del modelo estratégico fueron parte del proceso.

El Comité Técnico tuvo una función de apoyo, compuesto por profesionales conocedores de temas de planificación territorial, economía, recursos naturales, desarrollo social, comunicaciones, etc. Este Comité fue responsable de asistir con el diagnóstico de la situación particular de Caguas, colaborando con el Comité promotor en la elaboración de métodos de evaluación, implementación de plataformas tecnológicas (método de grupos focales, deliberación ciudadana, “brain storming”, análisis DAFO, “gant chart”, análisis estadísticos, encuestas, asambleas comunitarias, estudios de viabilidad, planes de mercadeo). Más adelante

colaboraron también con la viabilidad de las acciones propuestas por las comunidades.

Por su parte, el Comité Ejecutivo actuó como facilitador de los recursos necesarios para llevar a cabo la iniciativa, estuvo compuesto por el Alcalde, líderes de barrios, coordinadores de los otros comités y director de la Unidad de Planificación Estratégica del Municipio de Caguas.

Las funciones de estos comités proceden de la metodología relacionada con la gobernanza democrática propuesta por *América, Europa de Regiones y Ciudades*, AERYC. Esta entidad, a la que el Municipio de Caguas está afiliado, es una red internacional de regiones y ciudades, su principal finalidad es impulsar la gobernanza territorial y democrática fortaleciendo la participación y responsabilidad ciudadana.

2.3. Percepción pública de la situación actual: Hechos y Retos.

Para el diagnóstico y primer acercamiento a las comunidades, una de las dinámicas fue analizar y debatir hechos trascendentales en los últimos diez años de la ciudad. El Comité Técnico presentó ocho acontecimientos de relevancia. Durante la primera fase se identificaron los hechos y los retos por los comités Técnico y Asesor del Plan Estratégico. Los “hechos” fueron definidos como acontecimientos relevantes ocurridos en los últimos diez años en Caguas. Paralelamente de definieron “retos” como situaciones que afronta la Ciudad a consecuencia de los acontecimientos relevantes. Los hechos y los retos se abordaron desde las siguientes áreas: *sociedad, territorio y economía*. *Sociedad* incluye las perspectivas del desarrollo humano (educación, cultura, sentido de identidad, entre otros). Por otro lado, *territorio* abarca la planificación y organización de la ciudad, las infraestructuras y el ambiente. El ámbito de la *economía* se compone del desarrollo económico, tecnológico, empresarial, comunitario y de servicios.

Se llevó a cabo el análisis del entorno local y el contexto nacional e internacional. Basado en esa información, junto con estadísticas, el Comité Técnico elaboró el documento *“Hechos, Retos y Primeras Propuestas”* (Tabla 2). Las comunidades fueron participes del proceso con el fin de crear el modelo de ciudad deseado. La participación ascendió a 2,484 personas en representación de alrededor de 400 organizaciones. Se definió la Visión del futuro deseado. Una imagen o afirmación abarcadora y positiva de lo que se quiere lograr, de aquello en lo que se quiere transformar la Ciudad de Caguas (PENG-C, 2012).

Diálogos comunitarios

Durante todas las fases del proceso de elaboración del Plan, la participación comunitaria fue de mayor importancia. Se creó un espacio virtual para que la ciudadanía accediera a la información durante en proceso, y de esta forma comentar y crear debates sobre los temas tratados.

Los “diálogos comunitarios”, fueron un instrumento diseñado para facilitar el encuentro entre gobierno y ciudadanía donde participaron comunidades, bases de fe, comerciantes, industrias, academia y también el sector público de los municipios colindantes. Esos diálogos se llevaron a cabo en dos etapas, al principio de los procesos para recoger el sentir comunitario sobre los temas que más preocupan y así contar con un primer diagnóstico (Tabla 2) y luego en el proceso de diseño de los lineamientos estratégicos para que los mismos fueran validados. Estos diálogos se llevaron a cabo por barrios de Caguas.

Tabla 2 Hechos y retos identificados¹

Hechos	Retos		
	Sociedad	Territorio	Economía
<i>Consolidación de liderazgo regional</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en las necesidades y demandas sobre los recursos disponibles • Aumento en la población sin sentimiento de arraigo criollo • Incremento en el precio de la vivienda 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de necesidades por movilidad interna y externa • Demanda del suelo urbanizable • Mayor oferta de servicios públicos domiciliarios • Disponer nuevas áreas de actividad comercial para atender las demandas en Caguas y la Región 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor intensidad e interdependencia componentes regionales • Generación de mayor actividad económica de impacto local • Desequilibrio económico en la región • Transición hacia la economía del conocimiento
<i>Transformación del modelo de gestión pública</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevo rol del ciudadano en la gestión del gobierno • Actores emergentes en la gestión del gobierno • Empresario social • Responsabilidad social corporativa • Aprendizaje continuo, interno y externo 	<ul style="list-style-type: none"> • Surgimiento de estrategias en la gestión del territorio para promoción de proyectos público privados • Mayor realización ciudadana en los planes de ordenación • Gobierno electrónico • Gestión de redes como instrumento de gobernanza • Internacionalización en interdependencia de Caguas 	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno electrónico • Gestión de redes como instrumento de gobernanza • Mejora continua de la gestión administrativa y de servicios • Responsabilidad social corporativa • Internacionalización e interdependencia de Caguas
<i>Mejora del entorno urbano y concienciación ambiental</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevo rol del ciudadano en la gestión del gobierno • Actores emergentes en la gestión del gobierno • Empresario social • Responsabilidad social corporativa • Aprendizaje continuo, interno y externo • Acceso a servicios y espacios públicos • Equipamiento de espacios públicos • Mejora de la imagen de los barrios 	<ul style="list-style-type: none"> • Surgimiento de estrategias en la gestión del territorio para promoción de proyectos público privados • Mayor realización ciudadana en los planes de ordenación • Gobierno electrónico • Gestión de redes como instrumento de gobernanza • Internacionalización en 	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno electrónico • Gestión de redes como instrumento de gobernanza • Mejora continua de la gestión administrativa y de servicios • Responsabilidad social corporativa • Internacionalización e interdependencia de Caguas • Inversión para mantenimiento de la mejora continua del entorno

¹ PENG-C, <https://caguas.gov.pr/wp-content/uploads/2015/06/Plan-Estrategico-de-Nueva-Generacion-Caguas-2020.pdf>, accedido en 06/16.

- Conciencia de deberes y derechos de los vecinos
- Movilidad sostenible
- interdependencia de Caguas
- Disponibilidad y redefinición de suelo para uso públicos
- Conservación del patrimonio natural, cultural y urbano
- Movilidad sostenible
- Mayor importancia del valor ambiental y social en el desarrollo económico
- Participación de los sectores comunitarios en la mejora de los barrios
- Incremento de recursos financieros para mejora del entorno urbano y rural

Hechos

Incremento de ingresos per cápita

Retos

Sociedad

- Mayores y mejores oportunidades para la equidad social
- Mayor demanda de servicios
- Encarecimiento de la vivienda
- Aumento en las necesidades y demandas respecto a los recursos disponibles
- Aumento de población sin sentimiento de arraigo criollo
- Incremento del precio de la vivienda debido al encarecimiento del suelo
- Metropolización de Caguas

Territorio

- Desplazamiento comercial del centro urbano
- Exigencia de espacios urbanos de calidad
- Demanda del uso del suelo urbanizable
- Mayor demanda y costos de infraestructura y servicios públicos
- Daños ecológicos
- Congestión vehicular
- Metropolización de Caguas

Economía

- Mayores y mejores oportunidades para la equidad social
- Aumento en el costo de vida
- Mayores rentas públicas
- Presión insostenible del mercado
- Surgimiento del medio ambiente
- Metropolización de Caguas

Cambios en la cultura ciudadana

- Ciudadano más emprendedor, colaborador, exigente y fiscalizador
- Credibilidad y confianza en las acciones gubernamentales
- Mayor gobernabilidad
- Mayor conciencia de población discapacitada y vulnerable

- Incorporación más efectiva de objetivos e intereses de la población en la planificación
- Conciencia del sector privado a la aportación en el uso público
- Mayor concienciación y conservación del patrimonio urbano ambiental

- Incorporación de sectores marginados a la economía formal
- Arraigo del modelo de responsabilidad social empresarial en todos los sectores
- Consolidación y expansión del modelo de autogestión y desarrollo económico comunitario
- Desarrollo de una cultura emprendedora

Transformación hacia la sociedad del conocimiento

- Aprendizaje conjunto
- Surgimiento de nuevas desigualdades relacionadas con el acceso al capital

- Densificación
- Usos mixtos del suelo
- Necesidad de espacios para

- Inversión para el desarrollo del talento
- Fomento de una cultura empresarial

- educativo, cultural, social y acceso a las tecnologías de información
 - Crecimiento en las interacciones entre la academia, sector público y sector privado
 - Generación y usos múltiples del espacio público para encuentro y convivencia
 - Gestión del tiempo
 - Individualización de relaciones sociales
 - Internacionalización e interdependencia de Caguas
- servicios avanzados
 - Generación y usos múltiples del espacio público para encuentro y convivencia
 - Adaptación viviendas a exigencias de sostenibilidad
 - Internacionalización e interdependencia de Caguas
- innovadora
 - Incorporación de tendencias tecnológicas y organizativas en actividades económicas tradicionales
 - Desarrollo de los sectores emergentes
 - Internacionalización e interdependencia de Caguas

Hechos

Incremento de la seguridad pública

Retos		
Sociedad	Territorio	Economía
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la participación ciudadana en la vida cultural, social y recreativa • Mejoramiento del sentimiento de seguridad • Capacitación continua ante situaciones de emergencia • Prevención y reinserción de poblaciones vulnerables 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor ocupación del espacio público durante todo el día • Prevención ante los desastres naturales • Urbanizaciones con control de acceso • Seguridad en la vía pública 	<ul style="list-style-type: none"> • Atracción de inversiones • Incorporación de nuevas tecnologías en la seguridad • Costo de oportunidades ante inversiones sociales

Crecimiento de la esperanza de vida

<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de servicios por envejecimiento de la población • Canalización de la vida activa de las personas jubiladas • Confrontación intergeneracional 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación del mercado de vivienda • Acceso a la movilidad • Adaptación del espacio público 	<ul style="list-style-type: none"> • Confrontación intergeneracional • Crecimiento en la demanda por los servicios a las personas y sus costos • Adaptación del mercado laboral
--	---	--

2.4. Selección de modelo de Desarrollo Sostenible para la planificación estratégica

Con la intención de enfrentar las necesidades identificadas en Caguas con los objetivos y propuestas de desarrollo sostenible (o sostenibilidad, ya que en esta fase aún no se diferenciaban las implicaciones de ambos planteamientos) fue necesaria la selección de un marco teórico que sirviese de modelo para organizar los acercamientos. Modelos con múltiples dimensiones fueron evaluados y finalmente se seleccionó el Modelo de Sostenibilidad Ecológica (MSE) elaborado por Gómez Sal, (2001, 2007) (Tabla 3). Este modelo fue seleccionado ya que contiene una base teórica importante, incorpora de forma abierta dimensiones y los conflictos entre ellas, en particular el sistema de producción (gestión, planificación) como eslabón intermedio clave, se consideró por ello adecuado para el proceso planteado en Caguas por iniciativa de su alcalde e impulsado por la Unidad de Planificación Estratégica. En consideración a los retos identificados en la tabla 2, el crecimiento económico y la necesidad de producción local sostenible que no afectase a las bases física/natural y sociales, (o lo hiciese en la menor medida posible, conociendo lo que se pierde y de forma muy informada y consensuada) figuran como elementos de gran interés. Las propuestas de desarrollo de la producción deben tener una visión alineada con el recurso natural, tomando en consideración el concepto de coherencia ecológica y una eficiencia en la producción acorde con el funcionamiento del recurso para no establecer políticas contradictorias.

El concepto de coherencia ecológica aplicable al territorio y propuesto en el modelo de sostenibilidad ecológica, analiza las actividades humanas en su interacción con el sistema ecológico. Inicialmente este concepto (Gligo, 1990) se refiere al uso de los recursos naturales en función de su aptitud; el modelo MSE que utilizamos lo desarrolla y le concede una importancia esencial por ser la conexión clave entre el sistema de producción (en el que reside la cualidad de que el desarrollo sea o no sostenible) y la base físico/natural, de los ecosistemas y los “servicios” que pueden seguir aportando o desbaratarse. La coherencia ecológica, indica que usos pueden ser realizados sin causar degradación irreversible. La falta

de coherencia en el uso del suelo, radica en el desconocimiento de la aptitud natural del ecosistema y de los límites exactos de tolerancia, por ejemplo, de los cultivos que se pretendan implantar. En muchos casos, la falta de coherencia no procede de la ausencia de conocimientos por parte de los usuarios sino más bien de opciones políticas y de precios, provenientes de otras instancias de decisión (Gómez Sal, 2004, 2014).

Otra de las características que incorpora el modelo es que el valor cultural se distingue como una dimensión interdependiente de la social, lo que llamó la atención en Caguas y su “orgullo criollo”. Los cagüeños conocidos también como los “criollos de Caguas”, mantienen una identidad cultural que se diferencia en el país. Caguas, se ha distinguido por su vanguardismo en temas de desarrollo social, cultural y calidad de vida en Puerto Rico. Es por ello que Caguas se conoce como “el Nuevo País”.

Tabla 3. Dimensiones evaluativas para los diversos sistemas de ocupación de suelos (sistemas de uso de recursos, modelos de desarrollo). Resumen de las principales características, analogías y diferencias. Síntesis a partir de Gómez Sal (2001, 2014)

DIMENSIÓN EVALUATIVA	SUBSISTEMA	EVALUACIÓN	DESCRIPTORES DEL ESTADO DEL SUBSISTEMA
ECOLÓGICA	Ecosistema	Eficiencia de distinto tipo, ratios entre las cantidades mencionadas	Estabilidad, integridad, resiliencia, capacidad de recuperación. Valor de conservación, patrimonio natural.
PRODUCTIVA	Sistema de producción (agrícola, urbana, residencial, industrial, etc.)	Rendimiento, ratio entre insumos, productos, adecuación	Sostenibilidad, coherencia ecológica, mantenimiento de los recursos y los servicios de los ecosistemas
ECONÓMICA	Sistema económico convencional	Rentabilidad, ratio entre inversiones y beneficios (ganancias)	Viabilidad económica
CULTURAL	Sistema cultural	Originalidad, rareza	Valor patrimonial
SOCIAL	Sistema social	Índices de desarrollo humano y social	Equidad, participación en el bienestar y la riqueza
ÉTICA	Normativa legal sobre la relación sociedad-recursos naturaleza. En las escalas de territorio, paisaje y ecosistemas	Asegurar la coherencia del desarrollo con las disposiciones y sentimientos éticos la sociedad.	Legislación ambiental, sanitaria, agroalimentaria, regulaciones y su grado de cumplimiento. Valores compartidos respecto a los límites en la explotación de los recursos en la explotación de los recursos

2.4.1. *Los lineamientos estratégicos*

Una administración municipal que busque proyectarse globalmente a través de su inserción a la dinámica del desarrollo sostenible debe comenzar identificando las problemáticas propias a partir de las cuales construir los objetivos de desarrollo, sus prioridades y pasos, que podrán ser evaluados. De acuerdo con el modelo de sostenibilidad utilizado para la prospección y evaluación, se pudo avanzar en la definición de problemáticas y sus indicadores, criterios, componentes y dimensiones para cada barrio de Caguas (Tabla 3). El resultado de la evaluación pondrá en perspectiva las prioridades de desarrollo que la ciudadanía valora y a partir de estos, se podrán diseñar los lineamientos estratégicos que dirigirán las riendas de desarrollo en la ciudad. Las dimensiones del desarrollo fueron definidas de la siguiente manera:

Dimensión ecológica, en función a la integridad de los ecosistemas. El hecho de que para definir la integridad se plantee como un asunto central la consideración o no de la influencia humana, se debe al carácter de esta cualidad, destinada a entidades (sistemas) como ecosistema o paisaje. La integridad tiene por objeto proveer criterios para evaluar los ecosistemas, considerados como entidades con un cierto grado de autonomía y capacidad de regulación. De esta forma puede servir como fundamento para orientar con base científica las acciones de conservación de la naturaleza y de planificación de los usos del suelo (Vélez y Gómez Sal, 2008). Los componentes de la dimensión ecológica aluden a valor de conservación y la capacidad del ecosistema para sustentar usos y proveer servicios. Este criterio marcará el límite de lo que se considera o no sostenible.

Dimensión de producción, Referida al uso de los recursos (gestión, producción, planificación) y en consecuencia la posibilidad de deterioro de los servicios de los ecosistemas (urbanos, periurbanos, naturales, agroecosistemas en el municipio). El uso de los recursos, la tecnología aplicada, la eficiencia productiva, ordenación del terreno urbano, cobertura e infraestructura verde, el grado de ajuste de los usos y la posible alteración a los ecosistemas serán visualizados desde esta dimensión.

Dimensión cultural, como factor de desarrollo local. Aquí se miden los esfuerzos comunitarios de reconocimiento de patrimonio natural y cultural que se desean proteger. Para evaluar la dimensión cultural es necesaria una evaluación del interés local sobre sus recursos. No solo la presencia de elementos arquitectónicos únicos, yacimientos arqueológicos de culturas antiguas, la percepción de los espacios naturales locales, sino cuán importante pueden ser y cuanto amerita la voluntad o esfuerzo común de protección de los mismos. Por otra parte conocimientos y destrezas para manejar los recursos y poner en valor otros existentes, será también componentes aplicables en esta dimensión. La cultura (una sociedad formada, empoderada, con iniciativa e identidad) es un factor clave para la resiliencia eco-cultural en los ecosistemas humanizados (Montserrat, 2009; Gómez Sal, 2014)

Dimensión social, dependiente la educación, la participación pública, la salud, vivienda, equidad. La dimensión social valora las intervenciones comunitarias de interés social. Los criterios que definen el bienestar de la población y la calidad de vida. La integración socio-cultural en apoyo de prácticas para beneficio común y los conceptos de desarrollo humano y comunitario se incluiría en esta dimensión.

Dimensión económica, Incluye el papel de la economía en sus distintos campos (finanzas, comercio, iniciativas, industria) para hacer viable el modelo de desarrollo escogido. La economía debe ser un instrumento al servicio de los objetivos de calidad (sistemas social y ecológico, también cultural y ético) que establece la sociedad a través de los procesos de participación

La *Dimensión Ética* es un elemento implícito en todas las dimensiones y se refleja a través del manejo o gestión de los recursos desde el sistema gubernamental y la transparencia en las transacciones públicas. La gobernanza democrática es una regla de decisión en esta dimensión evaluativa.

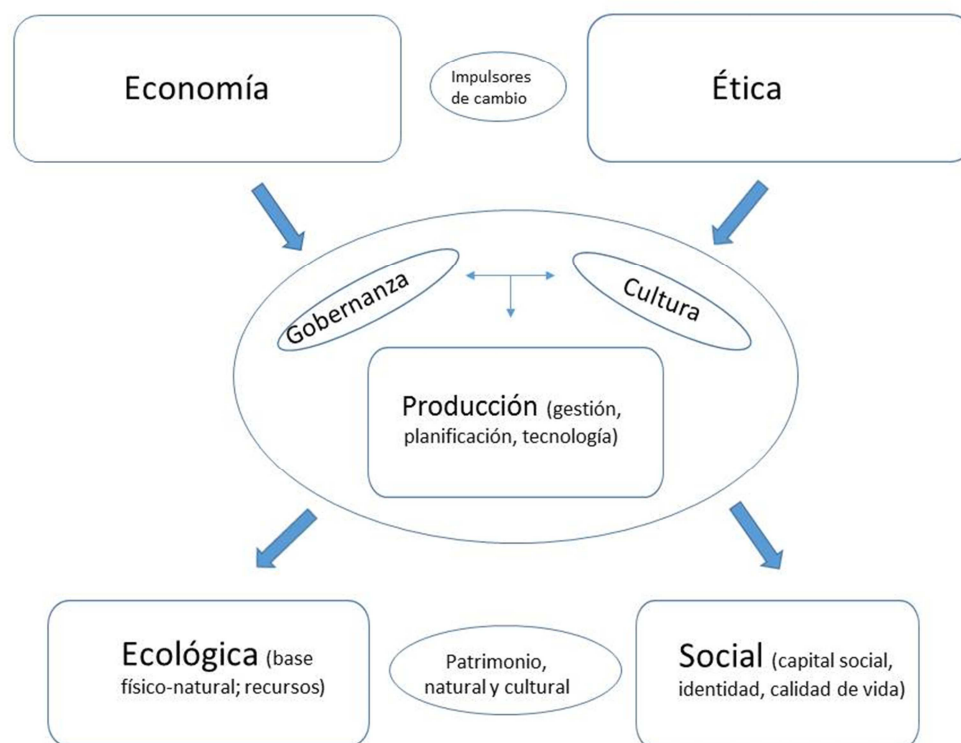


Figura 6 Visión dinámica de las relaciones entre las dimensiones evaluativas para el desarrollo local. Esquema teórico sobre la relación dinámica que según el modelo de evaluación y seguimiento del desarrollo (de sostenibilidad eco-social, Gómez Sal, 2001,2014) mantienen las dimensiones consideradas en el programa de Planificación Estratégica de Caguas. Los ecosistemas y su capacidad de prestar servicios para el bienestar humano, junto con una sociedad organizada, con un nivel de bienestar adecuado, constituyen la base (patrimonio y capital) que hay que preservar. Sobre ellos actúa el sistema de producción, regulado por la gobernanza y los valores culturales. A su vez los factores que impulsan el cambio y sus efectos (positivos o negativos), están incluidos en las dimensiones ética y económica.

Tomando en consideración las dimensiones del MSE y la información deducida de los diálogos comunitario por barrios se elaboró la siguiente matriz (Tabla 3). En la se ponderó la importancia de los criterios definidos en, mucha (↗), regular (↔), poca (↘). Con estos criterios se puede interpretar la relevancia de esa dimensión en cada barrio y sirvió de apoyo a los lineamientos estratégicos, de forma que pudiesen responder de la mejor forma a los intereses.

Tabla 4 Ponderaciones por Barrios de Caguas deducidas sobre criterios establecidos para las dimensiones.

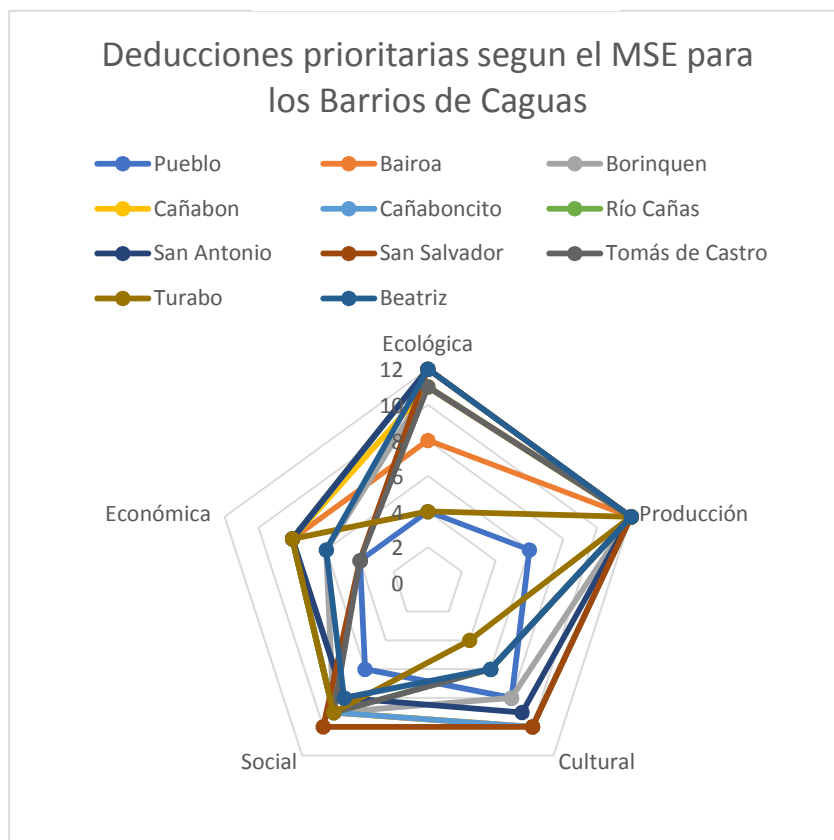
Dimensión	Componente (reglas de decisión)	Criterios	Barrios del Municipio de Caguas												
			Pueblo	Bairoa	Beatriz	Borinquen	Cañabon	Cañaboncito	Río Cañas	San Antonio	San Salvador	Tomás de Castro	Turabo		
Ecológica	Valor de conservación	Mantenimiento de biodiversidad, en particular especies amenazadas.	↘	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘
		Ecosistemas y paisajes relevantes	↘	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘
	Capacidad Sustentante	Sistema biofísico equilibrado. Vegetación con alta cobertura (natural o semi-natural)	↘	↔	↗	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘
		Ecosistemas saludables	↘	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘	
Producción de bienes para beneficio humano	Coherencia ecológica	Diversidad de producción	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	
		Producción adecuada a la aptitud de los ecosistemas (planificación de los usos)	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	
	Eficiencia productiva (tecnología, conocimientos)	Manejo sensato de los recursos agua y fertilidad (mantenimiento de retículas forestales, terrazas, cercos).	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	
		Eficiencia y alta productividad ecológica (tecnología)	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	
Cultural	Conocimientos y destrezas	Conocimientos adaptados sobre los recursos, saber empírico, cultura rural.	↘	↘	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↗	↔	↔	↘	
		Tecnología adecuada, conocimientos modernizados y con base científica.	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↘	
	Patrimonio	Sensibilidad y aprecio social respecto al patrimonio	↗	↔	↘	↔	↗	↗	↘	↗	↘	↘	↘	↘	
		Patrimonio histórico relevante; edificios, infraestructura, arqueología en el paisaje.	↗	↔	↘	↔	↗	↗	↘	↗	↘	↘	↘		
Social	Uso estratégico del territorio	Mantenimiento de una demografía estable y equilibrada	↘	↗	↔	↗	↗	↗	↗	↔	↔	↗	↗		
		Capacidad de la sociedad para aportar bienes y servicios socialmente apreciados	↘	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔		
	Bienestar, integración	Nivel de equidad en la distribución de la riqueza; hábitos cooperativos	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↗	↗	↔	↔		
		Integración social, solidaridad, identidad, conciencia de grupo.	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↗	↗	↔	↔			
Económica	Especialización	Productos especializados y altamente demandados	↘	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↘	↘	↔		
		Independencia de apoyo externo	↘	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↘	↘	↔		
	Rentabilidad	Importancia relativa de rentabilidad de los sectores económicos (% de renta de la aportación al Municipio [Industrial, agrícola, construcción, pesca, etc.])	↘	↔	↘	↔	↔	↔	↔	↘	↘	↘	↔		
		Rentabilidad de los productos (salida al mercado y demanda)	↘	↔	↘	↔	↔	↔	↔	↘	↘	↘	↔		

3. Resultados

3.1. Percepción del desarrollo en los barrios de Caguas. Evaluación de la importancia de las dimensiones.

Las tendencias identificadas en la evaluación (Figura 4), muestran que casi todos los barrios (con excepción del Barrio Pueblo) valoran fuertemente la importancia de los sistemas de producción, su coherencia respecto a los recursos disponibles. El barrio Pueblo ha identificado los criterios de los componentes ecológicos y de producción con una importancia baja, lo que puede responder a las pocas áreas naturales y sin urbanizar existentes en ese barrio. Sin embargo, los demás, en su mayoría, valoran los sistemas de producción y ecológico por encima de los demás componentes. Se puede deducir que el sistema de producción es importante en Caguas, debido a la necesidad de empleos, la incertidumbre política existente y la inseguridad alimentaria. También se puede identificar la importancia que se le otorga a los ecosistemas y la coherencia de sus usos.

Figura 7



A su vez, el sistema económico muestra tendencias menos relevantes en los barrios. Se deduce de los diálogos que las comunidades valoran más crear nuevos proyectos de producción de los cuales serán beneficiados económicamente. También, la estructura social en Caguas puede ser reforzada positivamente mediante nuevos modelos de producción ya que incrementa la confianza en el autoempleo y reduce otros problemas sociales de seguridad. La criminalidad, como robos e incidencia de jóvenes en el trasiego de drogas, está asociada a la falta de empleos, y esta a su vez, con la poca producción local en Puerto Rico. Esta situación puede ser aliviada con nuevos sistemas de producción puesto que no sería necesario delinquir para obtener medios económicos. Además, la económica informal (del trasiego de drogas ilegales) puede ser contrarrestada con la creación de nuevos negocios formales.

La educación también ha sido relacionada con el sistema de producción. Las comunidades han expresado la necesidad de crear nuevos espacios de producción en las comunidades donde el gobierno les pueda asistir en enseñar prácticas agrícolas y agropecuarias, entre otros tipos de producción sostenible asociados (compostaje, reciclaje de materiales, sistemas hidropónicos y acuapónicos). También han reclamado que se integren en los currículos escolares educación vocacional asociada con diferentes tipos de producción. Otro de los renglones que se ha identificado es el turismo rural o de naturaleza, gestionado por las comunidades, con la intención facilitar el acceso a bosques y ríos de interés público, de forma compatible con las propiedades privadas. Además de ofrecer supervisión de las actividades llevadas a cabo en las áreas naturales.

Por otro lado, de la evaluación surge que las comunidades de los barrios de Caguas aspiran a trabajar de manera integrada con el gobierno para mejorar los factores que pueden afectar al interés social como la seguridad y la salud. En este último, se ha creado conciencia del mantenimiento de buena salud y prevención de enfermedades a través de la alimentación y la vida saludable. Otro factor que incide en el sistema de producción es la calidad de los productos de cultivo en el territorio. Se propone que tengan una base orgánica y parecerse más al sistema ecológico que

los acoge para ser más natural y saludable. También, esos productos son de mayor demanda entre la comunidad, tanto para consumo propio como para mercadearlos con un valor añadido referente a la salud pública.

3.2. Planificación estratégica para la Ciudad. Lineamientos

El plan estratégico de Caguas se organizó desde los valores, la visión y misión del Municipio de Caguas adoptados por la administración municipal. Esto sirvió de plataforma para discutir, con los diferentes sectores comunitarios, los temas que luego serían recogidos en lineamientos estratégicos. Los lineamientos fueron determinados y junto con estos, las metas, los objetivos y las acciones para lograr alcanzarlos (Fig. 8).

Figura 8 Organización del contenido del PENG-C



3.2.1. Marcos de referencia para el establecimiento de los lineamientos

En relación con los patrimonios territoriales públicos (Gómez Sal, 2013), es importante establecer qué es lo que la sociedad considera que constituye su patrimonio natural. Esto va más allá de los objetivos más o menos convencionales de conservación, ordenación y catalogación, y debería servir de rasero o nivel de exigencia para ajustar las políticas de gestión de los bienes territoriales públicos y coordinarlas con las estrategias de avance hacia la sostenibilidad de los usos humanos y de la adaptación a los cambios globales. Esta idea puede ser extrapolada para referirse, no solo a los bienes ya considerados como patrimonio natural y cultural, sino en general para ajustar las políticas de gestión de los ecosistemas y los servicios que prestan.

Otro de los marcos de referencia para el establecimiento de las metas y objetivos discutidos durante los diálogos comunitarios fue la *Carta de la Tierra*. En 2007, la administración del alcalde William Miranda Marín firmó la *Carta de la Tierra* (cartadelatierra.org), una declaración internacional de principios y propuestas promovida por Naciones Unidas. La Carta reconoce que la protección ecológica, la erradicación de la pobreza, el desarrollo económico equitativo, el respecto a los derechos humanos, la democracia y la paz son metas interdependientes e indivisibles. Por consiguiente, un compromiso internacional que ofrece un nuevo marco ético integral e inclusivo para guiar la transición hacia un futuro sostenible.

También, luego de la crisis financiera global del 2008, la Comisión de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA) generó un documento llamado "*Economía Verde*"² donde recomienda varias prioridades para generar crecimiento y empleo mediante una economía que, valore e invierta en el capital natural, mejore el bienestar del ser humano y la equidad social, a la vez que reduce los riesgos ambientales. Caguas también considero esa iniciativa, que responde a las crisis mundiales (económicas, sociales, financieras) mediante la redistribución del capital

² <https://www.ecointeligencia.com/2016/01/economia-verde/>, accedido 8/10/2016

natural, social y financiero a los fines de generar beneficios para el desarrollo económico, la equidad social y la protección del medio ambiente. Refleja un cambio de paradigma hacia un enfoque holístico donde se valore a la vez la naturaleza, el medio ambiente, el bienestar humano y el desarrollo económico. La economía verde aplica tres medidas generales para el progreso 1) Mide el grado de transformación económica en relación con la inversión y el crecimiento en los sectores verdes. 2) Representa el impacto del desarrollo en función de la extracción y el agotamiento de los recursos. 3) La economía verde mide el bienestar de la sociedad según el acceso de la población a los recursos básicos, la educación, la salud y la seguridad social.

3.2.2. *Discusión de los lineamientos para la Ciudad de Caguas*

A partir de los diálogos comunitarios, los asuntos identificados en el ejercicio de “hechos y retos” y el ejercicio de percepción de las comunidades por barrios de los criterios definidos en el MSE, se logró definir un lineamiento general para el plan estratégico.

“Nuestra ciudad de Caguas, está convencida y comprometida con los principios que promueven el desarrollo sostenible. Una ciudad sostenible aspira a potenciar la dignidad y las capacidades del ser humano y de las comunidades. Formula mecanismos de concienciación, convivencia colectiva y de gobernanza democrática. Establece estrategias que promuevan el bienestar de todos y todas, sin destruir la base ecológica y los fundamentos socioculturales de la que dependen el desarrollo socio-económico y la calidad de vida de las futuras generaciones. Incorpora la ordenación territorial, el manejo de los recursos naturales y los principios éticos de la responsabilidad ambiental en sus prioridades de política pública. Impulsa el desarrollo científico y tecnológico para lograr energías renovables y eficiencias energéticas. Fortalecer la base agroalimentaria y el empresarismo competitivo, fundamentado en el conocimiento, en el marco de una economía solidaria. Diseña modos operacionales para lograr la productividad, redistribuye los recursos públicos hacia áreas

marginales y muestra transparencia en el uso de los mismos. Caguas, ciudad sostenible, requiere la participación de todos los actores”.

Desde este lineamiento general, se logró el diseño de seis lineamientos estratégicos que serán presentados a continuación. El sentido cultural y de identidad “criolla” permanece implícito en cada uno de los lineamientos. Por tanto, se determinó que un lenguaje colectivo que hace alusión a un pueblo o comunidad llamada Caguas será el que se adueñe de cada iniciativa y compromiso. Por eso, todos los lineamientos fueron iniciados como “Caguas es...”. El tiempo del enunciado es actual, reiterando, no solo lo que quiere ser la Ciudad, sino lo que ya es, una vez adoptado el Plan Estratégico como la dirección que seguirá el futuro de la Ciudad localmente conocida como “Nuevo País”.

Lineamiento para la dimensión social

La dimensión social del desarrollo debe prestar especial atención a mantener e incrementar el capital social, entendido este como los esquemas organizativos existentes y útiles, la integración en la comunidad, el sentido de pertenencia, los usos comunales. El acervo de conocimientos sobre los recursos y otras habilidades de la imaginación y la creatividad humanas, son un importante activo (dimensión cultural) que se ve favorecido por este capital social. Hacen también posible la asunción de poder (empowerment) y el protagonismo de los destinatarios del desarrollo (Gómez Sal, 2004). Teniendo en cuenta que el objetivo intrínseco del desarrollo es de carácter social, lograr el bienestar y la felicidad de los seres humanos, el interés o valor social de un sistema de uso de recursos deberá ser también un criterio básico de evaluación y un argumento imprescindible para su defensa. De hecho, las propuestas más coherentes de desarrollo sostenible incorporan como requisito básico la redistribución de la riqueza, equidad. El concepto de desarrollo “humano”, una adjetivación aparentemente innecesaria, tiene el sentido de subrayar el objetivo social del desarrollo (Gómez Sal, 2013).

En los diálogos comunitarios, la problemática social es de alta relevancia puesto que representa el convivir y el bienestar comunal (de la comunidad). En este

ámbito de la discusión se ha visto con mayor prioridad la salud, la seguridad y la educación. Dentro de las discusiones de los elementos de la sostenibilidad entre las comunidades, el futuro de la juventud (“los hijos de la comunidad”) fue de mayor relevancia. El tema de los jóvenes, como una generación que representa el cambio de paradigmas culturales para acercarse a los objetivos de la comunidad sostenible deseada, conlleva una responsabilidad mayor, tanto desde el núcleo familiar como desde la gestión pública. Es por ello que se ha planteado una educación integrada que contenga reformas para incorporar elementos de producción sostenible, manejo de los recursos naturales, residuos sólidos y orgánicos, energías renovables, manejo de aguas y de los ecosistemas.

Tabla 5 Lineamiento, metas y objetivos de la dimensión social en Caguas

Lineamiento de la dimensión social de la sostenibilidad para Caguas	Aspectos de que destaca
<i>“Caguas es Juventud y sana convivencia: Comprometiéndonos con los valores del desarrollo humano postulados por la comunidad internacional”</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Jóvenes, nueva generación ➤ Salud ➤ Autogestión ➤ Seguridad ➤ Educación
Meta 1: Caguas, Ciudad de la Democracia Participativa	<i>Objetivo 1: Garantizar la representación del 100% de los sectores de la Ciudad en los planes de acciones estratégicas de futuro</i>
Meta 2: Caguas, Ciudad Segura	<i>Objetivo 1: Lograr que el 100% de los sectores urbanos y rurales se incorporen a las estrategias de seguridad, manejo de emergencias y prevención de la criminalidad en la Ciudad.</i>
Meta 3: Caguas, Ciudad Saludable	<i>Objetivo 1: Desarrollar estrategias integradas que permitan un ambiente sano, condiciones de vida saludable y un entorno ordenado que propicie el disfrute pleno de la Ciudad.</i>
Meta 4: Caguas, la Ciudad de Todos y Todas	<i>Objetivo 1: Disminuir la brecha de riqueza entre los habitantes de la Ciudad.</i>
Meta 5: Caguas, Ciudad Educadora	<p><i>Objetivo 1: Fortalecer la infraestructura tecnológica de la Ciudad y ponerla al servicio de la educación de niños(as), jóvenes y adultos.</i></p> <p><i>Objetivo 2: Mejorar las posibilidades de éxito de los estudiantes cagüeños en un mundo altamente competitivo.</i></p> <p><i>Objetivo 3: Educación democrática.</i></p>

A partir de la definición de estas metas y objetivos, en Caguas se han creado proyectos de educación democrática y proyectos de producción sostenible escolar. También se han implementado medidas dentro de los planes de ordenación territorial para fomentar ambientes sanos y condiciones de vida saludable.

Lineamiento para la dimensión ecológica

El reconocimiento del valor de los ecosistemas como parte esencial del desarrollo de las comunidades es un elemento necesario en la planificación estratégica local sostenible. Conocer la capacidad sustentante (integridad, salud, funcionalidad) de los ecosistemas y su valor de conservación (índices de rareza de especies, diversidad) (Gómez sal, 2004) se hace necesario para que el ciudadano promedio comprenda cómo los servicios prestados por los ecosistemas se relacionan con el bienestar humano. Al entender el valor del recurso, el ciudadano puede discernir entre las actividades territoriales que son necesarias en el desarrollo, pero que pueden ser perjudiciales para el funcionamiento adecuado del ecosistema, de modo que tenga conciencia de su fragilidad y así fomentar su conservación y uso prudente. De esta forma, el elemento de educación ambiental se hace ineludible en los esfuerzos de planificación estratégica.

En los diálogos comunitarios, se relacionaron las iniciativas e infraestructuras imprescindibles para el desarrollo urbano (las infraestructuras “grises”) como las vías de transporte urbano y las edificaciones, como parte de las actividades del desarrollo, y mantenimiento de una ciudad habitable con la necesidad de que cumplan con los parámetros de sostenibilidad en el uso y gestión de los ecosistemas que se establezcan. Por ejemplo la creación de parques, jardines, sendas saludables para el paseo, transporte público, a pie o en bicicleta (las conocidas como infraestructuras verdes), que aportan naturalidad y calidad de vida.

Tabla 6 Lineamiento, metas y objetivos de la dimensión ecológica en Caguas

Lineamiento de la dimensión ecológica de la sostenibilidad para Caguas	Aspectos de que destaca
"Caguas se compromete con los principios de la conservación del medio ambiente que abonan a la sostenibilidad de la Ciudad"	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conservación de los ecosistemas ➤ Movilidad Ciudadana ➤ Planificación urbana
Meta 1: Caguas, Ciudad Sostenible	<i>Objetivo 1: Fomentar la educación ambiental y la sostenibilidad, desde diversas perspectivas, entre los niños(as) y jóvenes.</i>
	<i>Objetivo 2: Promover la sostenibilidad ambiental.</i>
Meta 2: Caguas, Ciudad de la Movilidad Ciudadana	<i>Objetivo 1: Asegurar las mejores condiciones de movilidad en el espacio urbano y contribuir a la conectividad en nuestra región centro oriental y el área metropolitana.</i>
Meta 3: Caguas, Ciudad Habitable	<i>Objetivo 1: Adaptar el espacio urbano y las edificaciones a los criterios de sostenibilidad.</i>
	<i>Objetivo 2: Reducir el impacto económico, social y ambiental de los fenómenos atmosféricos, sismos y otros riesgos naturales</i>

De este modo, en el PENG-C, se estipula que las comunidades promoverán una relación de armonía entre la conservación de la biodiversidad, el desarrollo de infraestructuras, la movilidad ciudadana y la planificación urbana. Esta relación será un ejemplo para una gestión urbana efectiva haciendo uso óptimo del espacio físico, conservando los sistemas hidrológicos, sistemas forestales y agro-ecológicos. El disfrute de las oportunidades que ofrece una ciudad ecológica, habitable y accesible, fortalece la calidad de vida. Algunos proyectos de Caguas que responden a estos objetivos y que han sido ya completados son el Jardín Botánico y Cultural William Miranda Marín y el Proyecto "Honor al Río" que hace alusión a la importancia de la conservación de los cuerpos de agua a través de la concienciación del mantenimiento de la cubierta vegetal de la cuenca hidrográfica.

Lineamiento para la dimensión económica

El desarrollo local incluye las expectativas de promoción de nuevas iniciativas económicas y/o fortalecimiento de las actividades ya existentes con objeto de asegurar medios de vida. El mercado local y las expectativas de proyección a los mercados nacional e internacional sirven de referencia para la

dimensión económica del desarrollo. La rentabilidad, razón entre inversiones y ganancias, es evaluada en las propuestas de nuevos negocios y empresarismo. En Caguas, el enfoque promovido para el desarrollo económico depende, en gran medida, de las comunidades, a través de la economía solidaria, referido a las formas económicas cooperativas, autogestionarias y asociativas. El emprendimiento es estimulado desde las comunidades, apoyado por políticas públicas, haciendo hincapié en proyectos como turismo sostenible y agricultura donde se promueve la creación de productos procesados con valor añadido. También en Caguas, a partir del PENG-C, se estimula la consolidación del centro urbano como área comercial, con nuevos negocios que en la medida posible, se asocien entre sí, para ganar apoyos, solucionar problemas y consolidar la imagen comercial.

Tabla 7 Lineamiento, metas y objetivos de la dimensión económica en Caguas

Lineamiento de la dimensión económica de la sostenibilidad para Caguas	Aspectos de que destaca
<i>“Caguas fomenta una cultura de empresarismo con perspectiva global, en marco de competitividad y economía solidaria”</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Emprendimiento ➤ Nuevos negocios ➤ Economía solidaria ➤ Competitividad ➤ Turismo sostenible
Meta 1: Caguas, Ciudad Emprendedora	<p><i>Objetivo 1: Promover el desarrollo de empresas capaces de exportar bienes y servicios competitivos en el mercado local e internacional.</i></p> <p><i>Objetivo 2: Promover un ambiente favorable para la creación de empresas nativas y oportunidades de trabajo.</i></p>
Meta 2: Caguas, Ciudad con un Centro Urbano Vibrante	<i>Objetivo 1: Proyectar al centro urbano como distrito central, eje institucional, cultural, residencial, comercial y de transportación de la Región Centro Oriental.</i>
Meta 3: Ciudad Turística de Clase Mundial	<i>Objetivo 1: Desarrollar un plan estratégico para el fortalecimiento del sector turístico mediante la alineación de recursos e iniciativas y la ampliación y diversificación de la oferta (producto) turística</i>

Tomando en consideración las expectativas de generación de nuevos negocios, en Caguas se crearon proyectos como, *Promo Caguas* que promueve a la ciudad como destino de negocio y *Caguas Emprende* que atiende a quien tenga una idea de negocio no definida. Al participante se le ayuda a identificar cómo esa idea se puede lograr, para luego trasladarlo a *Caguas Compite*, el cual es un programa de capacitación que proporciona herramientas y acompaña paso a paso, para que pueda tener su negocio. En este aspecto, al participante se le ofrece educación empresarial, la cual incluye elementos de gestión sostenible (manejo de energía, residuos, adquisición de materiales con fuentes que cumplen con estándares de sostenibilidad) y la creación de planes de negocios. También se ha generado el proyecto de creación de nuevos agroempresarios. En este se seleccionaron seis agricultores con conocimiento tradicional y nuevas tecnologías (sistemas hidropónicos, acuapónicos) que tienen terrenos en los que desarrollar la actividad y se les adiestro sobre temas de empresarismo y cómo establecer nuevos negocios.

Lineamiento para la dimensión de producción

Como ya hemos indicado en la presentación de este capítulo el sistema de producción, se considera en el modelo de evaluación de la sostenibilidad como un eslabón intermedio entre el sistema ecológico y el económico. Trata de recuperar una valoración basada en magnitudes físicas (rendimiento, eficiencias) con independencia de su valor económico. Por afectar directamente a los recursos/servicios generados en los ecosistemas, esta dimensión valorativa es la que detenta el atributo de la sostenibilidad. Será sostenible si permite que se mantenga la base (ecosistema) sobre la que el sistema de producción se apoya/sustenta. Trata por tanto sobre cómo se obtienen los productos y considera aspectos físicos (energía, materiales), tecnológicos y de gestión/planificación, valorados en sí mismos sin la intervención de magnitudes dinerarias.

En consideración a los resultados obtenidos en la evaluación multidimensional efectuado para cada uno de los barrios, la producción tanto de productos agrícolas como otros tipos de productos o servicios figura como el de

principal interés para el desarrollo local. Es probable que este resultado notable por su repetición en todos los casos, tenga que ver con la necesidad evidente de actividad que genere recursos y medios de vida (teniendo en cuenta la gravedad de la situación económica), pero también refleja la idea de que es necesario diversificar, descubrir y hacer valer los recursos propios, extender formas de producción y económicas más solidarias, que incidan sobre la calidad de vida en los distintos barrios y comunidades de la ciudad. El uso de la tecnología es visto como un elemento esencial en el desarrollo de modos de producción y su competitividad en el mercado local.

Tabla 8 Lineamiento, metas y objetivos de la dimensión de producción en Caguas

Lineamiento de la dimensión “de producción” la sostenibilidad para Caguas	Aspectos de que destaca
<i>“Caguas es la Ciudad del Futuro, tecnología y producción sostenible: se fomentará el desarrollo de tecnologías de información, comunicaciones, agroecológicas, energías renovables, manejo de residuos y nuevos modos en los procesos de producción sostenible”</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Producción sostenible local ➤ Competitividad ➤ Tecnología ➤ Energía renovable ➤ Proyección regional
Meta 1: Caguas, Ciudad de Alta Tecnología	<p><i>Objetivo 1: Expandir el uso de la tecnología de informática y telecomunicación a través de toda la ciudad de Caguas.</i></p> <p><i>Objetivo 2: Se ampliará el apoyo a los inventores, empresarios locales que desarrollan e innovan con bienes y servicios para que puedan mercadearlos tanto localmente como internacionalmente.</i></p> <p><i>Objetivo 3: Promover y apoyar la conservación de la energía y el desarrollo y uso de tecnologías de energía renovable y de manejo ambiental.</i></p>
Meta 2: Caguas, Eje Estratégico de la Región	<p><i>Objetivo 1: Fortalecer alianzas multisectoriales vinculadas a estrategias de crecimiento, fundamentado en las redes de producción competitivas, innovación y la promoción internacional.</i></p> <p><i>Objetivo 2: Desarrollar un Plan Estratégico de Producción Sostenible Regional orientado a aumentar la tasa de participación laboral.</i></p>

A partir de las propuestas esbozadas en el PENG-C, basadas en los diálogos comunitarios, se crearon iniciativas para estimular la producción sostenible, uno de los objetivos primordiales del Plan. De esto surge la *Corporación Juvenil para el Desarrollo de Comunidades Sostenibles* (CJDCS) la cual crea AgroInnova, una incubadora para los negocios agroecológicos, con el propósito de fomentar el crecimiento de las microempresas en el mercado agrario. En este laboratorio se fomenta la compra de productos a agricultores locales y se procesan diversos productos utilizados en la cocina puertorriqueña. Otro de los proyectos emblemáticos, resultado del PENG-C, es la *Granja de Producción Sostenible*, en el Barrio Cañabón de Caguas; en esta granja se practican métodos de producción agrícola sostenible que funcionan como un centro de aprendizaje de técnicas de cultivo con manejo de residuos, biocompostaje, energías renovables, manejo de aguas de escorrentías, entre otras.

Lineamiento para la dimensión cultural

En el modelo de sostenibilidad promovido en el PENG-C, el valor cultural se asemeja al valor ecológico en el sentido de que tienen un carácter patrimonial. Debido a su estrecha relación con el control de los procesos naturales (saberes, mitos, ciencia, tecnología, herramientas e infraestructuras) y su contribución a perfilar los mecanismos de respuesta y adaptación (resiliencia eco-cultural), esta dimensión evaluativa se situaría conceptualmente muy próxima al sistema ecológico.

Junto con los conocimientos sobre los recursos (su génesis y actualización) fraguados en la lenta interacción, coevolución, de las sociedades agrarias con la naturaleza, la dimensión cultural incluye los elementos construidos y las infraestructuras vivas e inertes (vigentes en la actualidad o de carácter patrimonial histórico) que forman parte del territorio (Gómez Sal, 2013). En Caguas, el sentido del patrimonio cultural siempre ha ocupado un primer plano, tanto por el respeto y orgullo de la historia que ofrece identidad al pueblo como por su arquitectura, artesanía, infraestructuras, conocimientos, paisajes culturales, etc.

Tabla 9 Lineamiento, metas y objetivos de la dimensión cultural en Caguas

Lineamiento de la dimensión cultural de la sostenibilidad para Caguas	Aspectos de que destaca
<i>“Caguas es orgullo criollo: la identidad cultural, el conocimiento tradicional, la historia y el patrimonio de la Ciudad son recursos fundamentales para el desarrollo sostenible”</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Patrimonio cultural ➤ Educación cultural ➤ Identidad cultural ➤ Economía creativa comunitaria
Meta 1: Caguas, Ciudad Criolla	<p>Objetivo 1: Promover los valores culturales patrimoniales como generadores de conocimientos y convivencia ciudadana.</p> <p><i>Objetivo 2: Apoyar la organización del sector cultural mediante una red articulada de ofrecimientos, productos y servicios. Se adoptará un modelo de economía creativa comunitaria.</i></p>

Un proyecto de Caguas que demuestra que el patrimonio cultural tiene un valor comparable al patrimonio natural, es el *Jardín Botánico y Cultural William Miranda Marín*, en el cual, además de la conservación de los recursos naturales y los paisajes agrícolas tradicionales (incluidos en el espacio del Jardín Botánico se encuentran una muestra de la vivienda o bohío campesino/jíbaro y se mantienen algunas las prácticas agrarias tradicionales, también una muestra histórica de los antiguos trapiches para la caña, un pequeño museo antropológico. Se promueve el patrimonio histórico de Caguas, en especial la cultura de las tres razas (africana, indio y española).

El tema cultural en Caguas, desde el PENG-C, también fomenta un modelo de economía creativa comunitaria como es la oferta gastronómica y otros elementos basados en la identidad del llamado “criollo” (cagüño) puertorriqueño.

Lineamiento para la dimensión ética

La propia gestión pública se inserta dentro de la dinámica de la sostenibilidad fomentada en el modelo elegido por la Ciudad, a través de la

dimensión ética. En ésta, se pretende asegurar la coherencia del desarrollo con las disposiciones y sentimientos éticos de la sociedad. La transparencia en los procesos y la gobernanza democrática ofrecen una garantía para la confianza pública que redundará en beneficio a la gestión del desarrollo sostenible local. En Caguas, el PENG-C establece que los procesos de participación democrática sean la punta de lanza para cada propuesta establecida.

Tabla 10 Lineamiento, metas y objetivos de la dimensión ética en Caguas

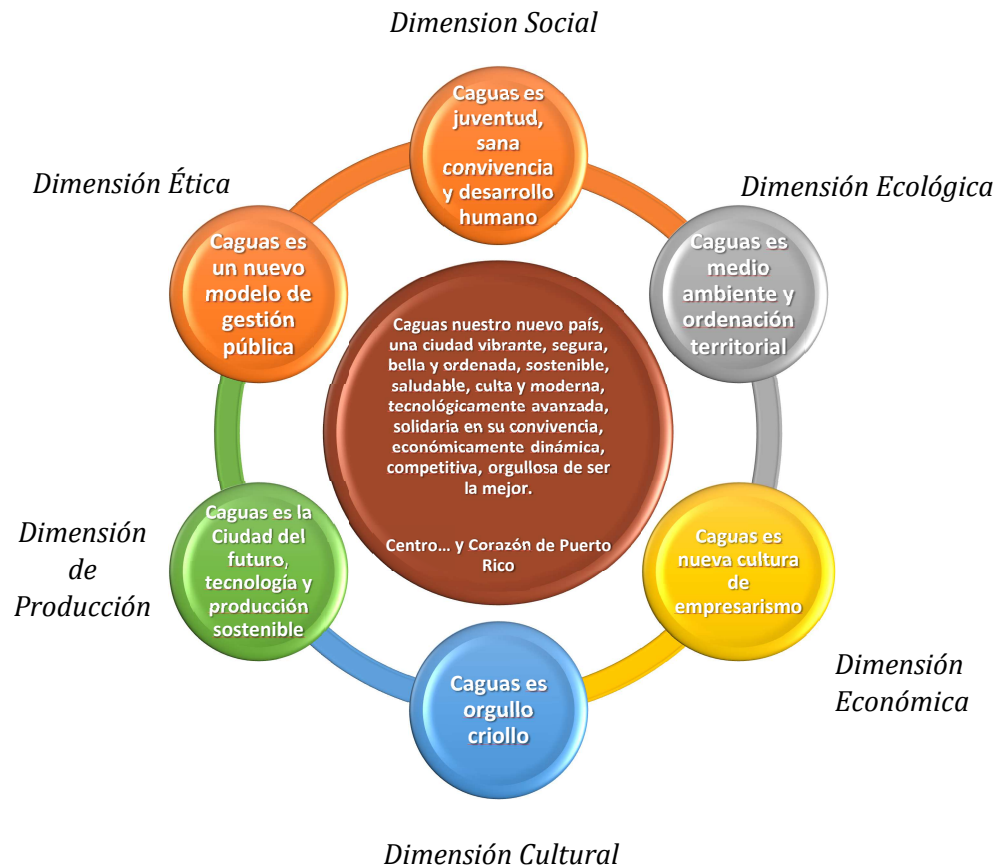
Lineamiento de la dimensión ética de la sostenibilidad para Caguas	Aspectos de que destaca
<i>“Caguas opera desde un nuevo modelo de gestión pública basado en la planificación estratégica, gobernanza democrática, profesionalización, gobierno electrónico y rendición de cuentas”</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gobernanza democrática <ul style="list-style-type: none"> ○ Presupuesto participativo ○ Transparencia ○ Rendición de cuentas ○ Alianzas multisectoriales ○ Participación común
Meta 1: Caguas Ciudad de la Gobernanza Democrática	Objetivo 1: Potenciar la participación ciudadana y la cooperación multisectorial para el desarrollo de un modelo de sostenibilidad.
Meta 2: Caguas, Ciudad de la Calidad Total Criolla	Objetivo 1: Revisar la estructura gubernamental en función de nuevas prácticas gerenciales y procesos de tecnología para alcanzar los nuevos lineamientos de sostenibilidad de la Ciudad

Se ha determinado que nuevas políticas públicas deben ser establecidas para fomentar el desarrollo de modelos de rendición de cuentas que aseguren la coherencia del desarrollo con las disposiciones y sentimientos éticos de la sociedad.

Esquema gráfico adoptado para el Plan Estratégico de Nueva Generación de Caguas

Con la intención de representar los lineamientos estratégicos y su relación con las dimensiones de la sostenibilidad con los cuales se ha comprometido la Ciudad, se diseñó un esquema gráfico (Fig. 8). El municipio de Caguas preparó una tarjeta representativa de este gráfico y lo expone frente al ayuntamiento como símbolo del compromiso con el cumplimiento del PENG-C (Fig. 9).

Figura 9 Los lineamientos del Plan Estratégico de Nueva generación de Caguas



3.3. Lineamientos finales del Plan Estratégico de Nueva Generación

El Plan Estratégico de Nueva generación fue finalizado y adoptado por el Municipio Autónomo de Caguas (MAC) en el año 2013. A continuación se detalla los valores, la visión y la misión del MAC junto con los lineamientos y definiciones esbozadas en el PENG-C.

Los valores adoptados por la administración del Municipio Autónomo de Caguas son: **lealtad, profesionalismo, compromiso, integridad, valentía y humanismo.**

La misión del MAC lee como sigue:

“proveer al pueblo acceso a servicios de calidad en forma creativa y efectiva, mediante el uso óptimo de los recursos y la participación activa de la ciudadanía”

Por otra parte, la visión adoptada en 1997 ha perdurado con pocos cambios:

“Caguas Nuestro Nuevo País, una ciudad vibrante, segura, bella y ordenada, saludable, culta y moderna, tecnológicamente avanzada, solidaria en su convivencia económicamente dinámica, competitiva, sostenible, orgullosa de ser la mejor, Centro y Corazón de PR

El Plan Estratégico de Nueva Generación

El Plan Estratégico de Nueva Generación de la ciudad de Caguas adopta seis lineamientos estratégicos que formulan seis dimensiones de un modelo de sostenibilidad para Puerto Rico.

- 1. Caguas es juventud, sana convivencia y el desarrollo humano, según son postulados por la comunidad internacional.*** Caguas opera en un nuevo paradigma donde el desarrollo humano es el fin último de las acciones de la ciudad. A través de redes sociales, los distintos actores facilitarán los procesos y se adoptarán planes que permitan la inclusión social, la confianza, la comprensión, el compromiso, el bienestar y las oportunidades para todos y todas mediante la autogestión comunitaria, la educación, la justicia social, la competitividad en un marco de sostenibilidad y economía solidaria.
- 2. Caguas se compromete con los principios de la conservación del medio ambiente que abonan a la sostenibilidad de la ciudad.*** Mantener una relación de armonía entre la conservación de la biodiversidad, el desarrollo de infraestructura, la movilidad ciudadana y la planificación urbana. Esta relación será un ejemplo para una gestión urbana efectiva haciendo uso óptimo del espacio físico conservando los sistemas hidrológicos, sistemas forestales y agroecológicos, entre otros. El disfrute de las oportunidades de una ciudad ecológica, habitable y accesible, fortalece la calidad de vida. El desarrollo sostenible se apoya en el reconocimiento de la función que cumple el medio ambiente y los

recursos naturales como base de sustentación material, eco-sistémica, ambiental y energética de los procesos económicos.

3. *Caguas fomenta una nueva cultura de empresarismo con perspectiva global, en un marco de competitividad, sostenibilidad y de economía solidaria.*

Mantener una relación de armonía entre la conservación de la biodiversidad, el desarrollo de infraestructura, la movilidad ciudadana y la planificación urbana. Esta relación será un ejemplo para una gestión urbana efectiva haciendo uso óptimo del espacio físico conservando los sistemas hidrológicos, sistemas forestales y agro-ecológicos, entre otros. El disfrute de las oportunidades de una ciudad ecológica, habitable y accesible, fortalece la calidad de vida. El desarrollo sostenible se apoya en el reconocimiento de la función que cumple el medio ambiente y los recursos naturales como base de sustentación material, eco-sistémica, ambiental y energética de los procesos económicos.

4. *La identidad cultural, el conocimiento tradicional, la historia y el patrimonio de la ciudad son recursos fundamentales para el desarrollo sostenible.*

La cultura es la representación de lo que somos, de nuestra historia y patrimonio ante el mundo. Tiene la infinita capacidad de promover la solidaridad, hacer alianzas, integrar memorias, crear identidades compartidas, crear espacios de expresión y convivencia, generar progreso, humanizar pueblos y ciudades, arraigar sentimientos de pertenencia y conservar valores comunes. De ahí, que la promovamos en cada una de las gestiones del interés público y ciudadano. Interpretamos como parte de la oferta de turismo cultural, el folklor tradicional, el patrimonio histórico, arqueológico, artesanal y gastronómico. Asimismo, las artes visuales, escénicas, musicales, plásticas, entre otras, que fomentan la creatividad y la educación de nuestro pueblo. En la globalización, el elemento diferencial formalmente es la identidad cultural de los pueblos. La conceptualización del desarrollo sostenible debe considerar la cultura como uno de sus fundamentos.

- 5. *Caguas, la Ciudad del Futuro Sostenible, fomentará el desarrollo de tecnologías de información, comunicaciones, energías renovables y manejo de residuos y nuevos modos en los procesos de producción sostenible.*** La competitividad y sostenibilidad de la ciudad y de la región está sujeta a que aceptemos el reto de promover el desarrollo del recurso humano y las infraestructuras tecnológicas. Tenemos un caudal de puertorriqueños y puertorriqueñas educadas en distintos campos de la industria de alta tecnología, energética, informática, telecomunicaciones, inteligencia artificial, nanotecnología, biotecnología, y tecnologías ambientales. La Ciudad promoverá la investigación e innovación como valor añadido en los procesos, servicios, actividades y productos. Caguas seguirá siendo reconocida por el uso amplio de la tecnología en todas sus manifestaciones como herramienta de apoyo a la reducción de la brecha digital. Hoy el acceso a la información es un recurso económico fundamental para lograr la equidad social en las ciudades. Por esto, es necesario que la tecnología de informática y las comunicaciones fluyan de forma libre e ininterrumpida a través de las Ciudades de la región.
- 6. *Caguas opera con un nuevo modelo de gestión pública: basado en la planificación estratégica, gobernanza democrática, profesionalización, gobierno electrónico y rendición de cuentas.*** Nuestra administración municipal y su modelo de gestión pública responden a estrategias de desarrollo viables enmarcadas en la cooperación multisectorial. La evaluación, el seguimiento y la medición de los objetivos, los planes, los servicios y los proyectos se realizarán en forma constante. Maximizaremos el uso de la tecnología de información y de la comunicación para la implantación de servicios en forma ágil y segura. La gobernanza democrática, como una nueva forma y estilo de gestionar los asuntos públicos, fue iniciada y promulgada en Puerto Rico por nuestra Administración Municipal. Ello implica un compromiso de continuar fortaleciendo las redes de colaboración multisectoriales, la participación ciudadana y comunitaria, así como los procesos de diseño, gestión y evaluación de los programas y servicios municipales.

4. Conclusión

4.1. Planificación desde los elementos multidimensionales de la sostenibilidad

Este modelo demostró que un plan estratégico, en el Caso de Caguas, definido

como un compromiso inter comunitario y gubernamental, impulsa los recursos y prioridades del municipio a un futuro de desarrollo sostenible que incluye la capacidad de adaptación a los cambios globales. También permite la inserción de elementos de sostenibilidad eco-social como una guía para establecer lineamientos estratégicos. Como producto de este ejercicio, se obtuvo el Plan Estratégico de Nueva Generación de la Ciudad de Caguas (MAC, 2011). Ese documento desarrolla los temas definidos en los lineamientos estratégicos y establece metas, objetivos y acciones desde los mismos.



Figura 10 Tarja pública que contiene los lineamientos del Plan Estratégico de Nueva Generación de la Ciudad de Caguas

Otras líneas de desarrollo deben ser igualmente tomadas en consideración para dar seguimiento y asegurar el éxito en la gestión del plan. Entre estas se encuentran:

- Desarrollo de indicadores para cada uno de los objetivos propuestos en el plan estratégico. De esta manera se puede asegurar que las acciones llevadas a cabo se acercan adecuadamente a los objetivos y metas.
- Las comunidades, junto con el gobierno municipal, debe revisar las propuestas incluidas en el plan con el fin de asegurar que se ajustan a la situación actual del país. Si es necesario, actualizar las acciones acordes con la situación proyectada.

5. Bibliografía

- Altomonte H., Sánchez R. J., 2016. Hacia una nueva gobernanza de los recursos naturales en América Latina y el Caribe. *Libros de la CEPAL*, N° 139 (LC/G.2679-P)
- Bram, J., Martínez F. E., Steindel C., 2008. Trends and Developments in the Economy of Puerto Rico. *Current Issues in Economics and Finance* 14, no. 2 (Mayo). http://www.newyorkfed.org/research/current_issues/ci14-2.pdf
- Cabán P, 1988. El Aparato Colonial y Cambio Económico: 1898-1917. *Revista de Ciencias Sociales*. Vol. 27, no. 1-2: 53-87
- Carrasquillo, A., 2009. La experiencia del modelo de colaboración Gobierno-Ciudadanía en el municipio autónomo de Caguas. *Los gobiernos locales en la construcción del futuro de los países: Gobernanza Urbana y Desarrollo Regional*. AERYC, Junta de Andalucía p. 56
- Census Bureau, 2012. Puerto Rico: 2010. <https://www.census.gov/prod/cen2010/cph-1-53.pdf>
- CEPAL, 2001. Desarrollo económico local y descentralización en América Latina: Análisis comparativo. Proyecto Regional de Desarrollo Económico Local y Descentralización. CEPAL/GTZ http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2691/S2001704_es.pdf
- Dalmau, J. 2015. Propuesta ante la crisis. *El Nuevo Día*. 12 de junio de 2015. <http://www.elnuevodia.com/opinion/columnas/propuestasantelacrisis-columna-2059276/>
- Diario Primera Hora, 2010. Caguas entre las mejores ciudades del mundo para vivir. <http://www.primerahora.com/noticias/isla/nota/caguasentrelasmejoresciudadesdelmundoparavivir-443036/>
- Diputación de Barcelona, 2016. La participación ciudadana en la planificación estratégica territorial. *Guía metodológica para la planificación estratégica*. Oficina Técnica de Estrategias para el Desarrollo Económico. <https://www1.diba.cat/uliep/pdf/55027.pdf>
- Eyzaguirre Rojas, N. 2006. La Planificación Estratégica como metodología integrada en el Sector Educación. *XIX Seminario Regional de Política Fiscal – CEPAL – ILPES*. Tema: Planificación del sector público, gestión orientada a resultados y programación plurianual.

- Fajardo L., 2015. ¿Qué culpa tiene Washington en la crisis económica de Puerto Rico?. *BBC/Mundo*. Publicación electrónica el 23 junio 2016.
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722_economia_puerto_rico_crisis_washington_lf
- Gautier Mayoral, C. 1990. *Puerto Rico en la economía política del Caribe*, San Juan de Puerto Rico. *Colección de Relaciones Internacionales del Caribe*. Ediciones Huracán. n° 2, Centro de Estudios Sociales, Universidad de Puerto Rico.
- Gallopín, G. 2016. Sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: cifras y tendencias, Honduras. *Colección CEPAL*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. LC/W.104. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile
- Gligo, N. 1990. Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola. *Comercio Exterior*. Vol. 40. N° 12:1135-1142
- Gómez Sal, A. 2004. Sostenibilidad ecológica: espacios y oportunidades para un reto inaplazable. *Quórum*. 10:23-43, Universidad de Alcalá, Madrid.
- Gómez Sal, A. 2007. Los puntos críticos de la sostenibilidad. Perspectivas desde Europa y América Latina. *Actas I y II Encuentro Hispano Americano sobre Desarrollo Sostenible*. Gob. de Aragón 82-101 p.
- Gómez Sal, A. 2009. Veinte años desde el informe Brundtland. Razones para una ciencia de la sostenibilidad. *Ambienta*, 88: 28-45. Ministerio Medio Ambiente, Rural y Marino. Madrid
- Gómez Sal, A. 2013. Dilemas y perspectivas en la gestión de los patrimonios territoriales públicos. *Ambienta*, 104:4-21 pp
- Jiménez Juarbe, H. 2015. Lo que ocurrió con las 936. *El Nuevo Día*. 28 de septiembre de 2015. <http://www.elnuevodia.com/opinion/columnas/loqueocurrioconla936-columna-2104287/>
- [MAC] Municipio Autónomo de Caguas, 2011. Plan Estratégico de Nueva Generación de la Ciudad de Caguas. <https://caguas.gov.pr/wp-content/uploads/2015/03/Plan-Estrat%C3%A9gico-de-Nueva-Generaci%C3%B3n.pdf>
- Maradiaga, J. R., 2016. La globalización y las tecnologías de la información. *La Tribuna*. <http://www.latribuna.hn/2016/10/06/la-globalizacion-las-tecnologias-la-informacion/>

- Miranda Marín, W., 2009. Los gobiernos locales como organizadores colectivos del desarrollo humano de las ciudades. La experiencia de Caguas. *Los gobiernos locales en la construcción del futuro de los países: Gobernanza Urbana y Desarrollo Regional*. AERYC, Junta de Andalucía p. 33
- Montserrat, P., 2009. La cultura que hace el paisaje. Escritos de un naturalista sobre nuestros recursos de montaña. La Fertilidad de la Tierra Ediciones. Estella (Navarra), pp. 237
- Naredo, J. M., 1996. Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *Cuadernos de investigación urbanística*. Nº. 41.
- Ospina Bozzi, S. M., 2001. Globalización y desarrollo local: hacia una perspectiva municipalista. *Revista de Estudios Sociales*. núm. 8, p. 1.
- ONU, 2015. Gobernanza. <http://www.un.org/es/globalissues/governance/index.html>
- Peters, G.B. y Pierre, J. 2005. ¿Por qué ahora el interés por la gobernanza?”, en A.Cerrillo i Martínez (coord.), *La Gobernanza hoy:10 Textos de Referencia*, Madrid, Instituto Nacional de Administración Pública INAP, pp.145-172.
- Pascual Esteve, J.M., 2009. Los gobiernos locales en la construcción del futuro de los países: Gobernanza Urbana y Desarrollo Regional. *Edita*. Consejería de Gobernación, Junta de Andalucía. ISBN 978-84-691-6355-9
- Pascual Marcias, B., 2016. El Supremo de EE.UU. reitera que la soberanía de Puerto Rico reside en Washington. *EFE*. Washington. Publicación electrónica el 9 jun. 2016. <http://www.efe.com/efe/america/politica/el-supremo-de-ee-uu-reitera-que-la-soberania-puerto-rico-reside-en-washington/20000035-2951099>.
- PNUMA [Programa Naciones Unidas Medio Ambiente]. *Economía Verde*. <http://web.unep.org/greeneconomy/>
- Quiñones-Domínguez, M. 2014. La economía tiene consecuencias sociales. *MINH Dirección Nacional*. Viernes 21 de febrero de 2014. http://minhpuertorico.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2478:martha-g-quinones-dominguez--minh-direccion-nacional&catid=63:secretaria-de-educacion-politica&Itemid=87
- Quiroga R. (2007). Indicadores ambientales y desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Publicaciones de Naciones Unidas (*Colección CEPAL*). p. 228

- Rodríguez Gelfenstein S. 2004. Puerto Rico: Colonialismo en un mundo global. *Rev. Venez. de Econ. y Ciencias Sociales*. vol. 10, n°3:209-231
- Rodríguez, L. 2009. Gobernanza urbana y desarrollo regional: Los gobiernos locales en la construcción del futuro de Puerto Rico. *Los gobiernos locales en la construcción del futuro de los países: Gobernanza Urbana y Desarrollo Regional*. AERYC, Junta de Andalucía p. 170
- Salcedo Aznar, A. 2014. Las nuevas actitudes hacia el consumo y la producción: las mejores prácticas en el ámbito del consumo colaborativo y la obsolescencia planificada. Comité económico y social europeo. <http://www.eesc.europa.eu/resources/docs/estudio-vf.pdf>
- Santana Rabell, L., Santiago Centeno, Z., Rivera Ortiz, A., 2007. La gobernanza democrática en Caguas: una nueva forma de gobernar. *EMS Editores*. Universidad de Michigan.
- Sosa Pascual, O. 2007. Planificación Municipal para el desarrollo regional. *Revista Caguas*. https://issuu.com/leramos/docs/revista_caguas_oct2007
- Torrech, R. 2009. Participación ciudadana y planificación estratégica en los barrios de Caguas, Puerto Rico. *Los gobiernos locales en la construcción del futuro de los países: Gobernanza Urbana y Desarrollo Regional*. AERYC, Junta de Andalucía p. 176
- Vázquez Meléndez, V. 2016. Los efectos de la globalización sobre el sector económico-industrial y la sociedad de Puerto Rico. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense de Madrid.

Capítulo VII Conclusiones



Un objetivo general en este trabajo de tesis doctoral, ha sido proponer métodos de evaluación de la sostenibilidad, en su acepción ecológica o eco-social, que incorpore también la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios. De esta forma los “servicios de los ecosistemas para el bienestar humano” (de acuerdo con el proyecto MEA, 2004) se constituyen en una referencia para preciar hasta qué punto los usos humanos son o no sostenibles. Lo serán si no afectan a los servicios considerados importantes, o incluso los mejoran. La metodología basada en SIG y el planteamiento general geográfico y ecológico pretende facilitar el traslado y la representación de los elementos del desarrollo sostenible (modelos de sostenibilidad, eco-servicios) para la planificación a escalas amplias, un aspecto hasta ahora no muy conseguido. Por otra parte en el planteamiento de estos métodos ha estado siempre muy presente la idea de que fuesen útiles para la gestión pública, en su responsabilidad de planificación del territorio, tanto en los aspectos técnicos, como para facilitar la inclusión de los sistemas sociales, junto con los ecosistemas, en la dinámica del desarrollo sostenible.

Planificación del territorio con objetivos de sostenibilidad

La planificación para diversos usos territoriales debe contener implícita la gestión de los requerimientos tanto de las comunidades (humanos, sociales) como de la naturaleza. En la práctica, se hace necesario identificar las exigencias de las sociedades en relación con el territorio, estas pueden ser para vivienda, urbanización, agrícolas, industriales, infraestructuras sociales como hospitales y escuelas o espacios para la recreación. Sin embargo, los requisitos para el buen funcionamiento (funcionalidad) de los sistemas naturales en su papel de proveer servicios necesarios para las sociedades, no son incorporados habitualmente en la planificación. Nos referimos a las condiciones que deben darse para que mantengan procesos ecológicos básicos (biodiversidad, estructura, conectividad). La gestión del territorio no solo debe contar con criterios de atención social, de igual manera debe ser definidos criterios para mantener la estructura y función de los ecosistemas. Desde la perspectiva de la gestión administrativa y pública, en este trabajo se han

demostrado algunos métodos útiles para incluir criterios de atención a los ecosistemas en la planificación del territorio.

Como se ha comentado en la introducción, el enfoque de cada capítulo se relaciona con distintos tipos de servicios: de regulación (caps. III y IV), de abastecimiento (V) y culturales (VI); dos de ellos (el III y el VI) indican también de en la evaluación de la sostenibilidad.

Por otra parte cada capítulo incide en problemáticas importantes para el país, como demuestra el hecho de que cuentan con legislación relacionada. Veamos esta correspondencia:

El **capítulo III**, considera los *Planes de Mitigación de Riesgos Naturales* requeridos por el gobierno de los EEUU a todos sus estados y territorios. En ese documento se deben proponer medidas de mitigación de riesgos naturales, entre las cuales pueden estar incluidos los ecosistemas que ofrecen servicios de regulación en la mitigación de inundaciones, estabilización de pendientes montañosas con riesgo de deslaves, ecosistemas que mitigan el impacto de los vientos fuertes, etc. En el capítulo se desarrolla un método para evaluar la sostenibilidad del uso del territorio en función de su capacidad de mitigación de los riesgos naturales.

El **capítulo VI**, hace alusión al *Plan de Uso de Terrenos (PUT)*, que genera la Junta de Planificación de Puerto Rico, el cual contiene la ordenación general del territorio de la Isla aprobada por el gobierno. El método que se propone evalúa la cubierta vegetal en su papel como atenuadora de erosión de suelo, en una cuenca hidrográfica que forma parte de los afluentes de un importante embalse. La aplicación de este método permitiría ponderar y priorizar la conservación de los ecosistemas o su transformación prudente en usos agrarios apropiados (que conserven las funciones básicas de regulación) en función de los usos primordiales asociados a las cuencas hidrográficas.

En un país que aspira a la seguridad alimentaria, las propuestas de métodos de producción agrícola sostenible, centrada en los productos más demandados, son apremiantes. Más aún cuando el territorio actual es ocupado por bosques

secundarios, que ofrecen servicios ecosistémicos importantes en la región. Ese es el caso evaluado en el **capítulo V**, en el cual se han propuesto agroecosistemas pensados para hacer compatibles servicios de producción y de regulación. La propuesta permite evaluar el territorio en escalas amplias para la planificación agraria, y ser utilizada por el Departamento de Agricultura de Puerto Rico, en el *Plan de Seguridad Alimentaria de PR*.

La perspectiva eco-social del desarrollo está recogida en el **capítulo VI**, donde se expone la planificación estratégica en escala local y el proceso de generación de lineamientos basados en la gobernanza democrática y la sostenibilidad ecológica. El *Plan Estratégico de Nueva Generación de la Ciudad de Caguas* fue creado a partir de un esfuerzo colaborativo entre la sociedad local y la administración pública del municipio, mediante la adopción de políticas de desarrollo sostenible.

Los resultados de los capítulos son coherentes con la idea de utilidad para la administración, su aplicabilidad directa y su relación con la legislación vigente sobre los recursos. Son métodos que apoyan la toma de decisiones en los ámbitos legislativos mencionados, tomando en consideración los servicios de los ecosistemas y la sostenibilidad de los usos humanos.

Conclusiones generales

- El establecer métodos de evaluación de la sostenibilidad y la integridad ecológica como parte de estrategias de planificación de usos de suelos, así como su traslado y representación mediante SIG en el territorio, permite obtener información necesaria que aporta criterios para la planificación en escalas amplias. Se demuestra que estos métodos son herramientas útiles para enlazar la conservación de la naturaleza, la gestión de los recursos naturales y las demandas de las comunidades (la sociedad).
- La generación de cartografía alusiva a la visión multidimensional del desarrollo, con un enfoque de sostenibilidad ecológica o eco-social según el modelo empleado,

permite evaluar los conflictos de intereses (o *trade-offs* entre eco-servicios) en un determinado espacio territorial y analizarlos en función del modelo de sostenibilidad característico de cada parcela del territorio (fragmento o parche), que puede representarse o evaluarse.

- Conocer el papel de los servicios de los ecosistemas para la mitigación de los riesgos naturales permite definir e implementar estrategias de conservación de determinados ecosistemas (incluyendo agroecosistemas) como medida preventiva en la planificación territorial. También permite documentar la importancia del servicio y acceder así a fondos monetarios para su debida gestión y protección.
- El evaluar escenarios sobre la función de distintos patrones de la cubierta vegetal como mitigadores de pérdida de suelos, puede demostrar la importancia de la inclusión de los servicios ecosistémicos de regulación de la erosión, en la planificación de los usos del territorio, incluyendo la protección de grandes infraestructuras. En la cuenca hidrográfica del Río Gurabo\Valenciano se pudo cuantificar el riesgo de incrementar el sedimento por remoción de la cubierta vegetal. Esto afectaría a los costes de remediación de extracción del sedimento en el embalse Carraízo, aumentando el riesgo y la frecuencia de colmatación.
- Los escenarios futuros de ordenación territorial y sus consecuencias sobre la prestación de servicios de los ecosistemas (los conflictos, *trade-offs* entre servicios, representados directamente en el territorio), representan un método de gran utilidad para la toma de decisiones. Cada sector del territorio (ya sea administrativo o físico, como es el caso de una cuenca hidrográfica) debe contar con evaluaciones basadas en los ecosistemas presentes y los servicios de mayor importancia definidos por las necesidades prioritarias establecidas por las comunidades locales. Asimismo, las evaluaciones deben incluir el concepto de integridad del ecosistema, para que no se afecte su estructura y función necesarias para asegurar el mantenimiento del flujo de servicios.
- Los modelos de agroecosistemas diseñados a partir de la evaluación de la cubierta vegetal y los ecoservicios relacionados con ella, teniendo también en cuenta la

aptitud evaluable del territorio para acoger distintos cultivos, representan alternativas de producción agrícola, apropiadas para integrarse en la planificación general del territorio. Su objetivo, alcanzar el abastecimiento de los productos locales demandados y ganar soberanía alimentaria, puede hacerse compatible con el mantenimiento de los servicios culturales (educación, turismo, etc) y de regulación.

- El uso combinado de metodologías SIG y análisis multivariante para el análisis de la adecuación de los suelos para acoger especies agrícolas, a la vez que se evalúa el balance de ecoservicios, los cuales se verían afectados por los distintos modelos agroecológicos posibles, representa una técnica innovadora que aporta resultados útiles para la planificación agrícola en grandes extensiones territoriales.
- La planificación estratégica como herramienta de gestión en escalas locales, ha demostrado ser un método adecuado para obtener lineamientos consensuados para la gobernanza democrática y el desarrollo sostenible. Asimismo el modelo de evaluación multicriterio de la sostenibilidad adoptado como estrategia para investigar las necesidades sociales y facilitar la participación de las comunidades, ha permitido identificar y organizar las prioridades que fueron incluidas en los lineamientos del plan estratégico.
- El modelo de evaluación y representación de la sostenibilidad resulta asimismo útil para definir los escenarios de desarrollo sostenible que pueden actuar como meta para los gobiernos locales, en función de sus expectativas y necesidades. De acuerdo con el escenario elegido (sostenibilidad ecológica y social en el caso de Caguas, PR) se elaboraron los lineamientos estratégicos para ser manejados por la gestión pública.
- Las metodologías aplicadas en este trabajo tienen el potencial para ser adaptadas para el análisis y evaluación de los planes gubernamentales (evaluación de planes y políticas públicas), tal como se ha demostrado en los capítulos referidos a planificación estratégica municipal y cuenca hidrográfica.

General Conclusions

- Establishing methods for assessing sustainability and ecological integrity as part of land-use planning strategies, as well as their transfer and representation through GIS (Geographic Information Systems) on the territory, allows obtaining necessary information that provides criteria for planning at large scales. These methods have shown to be useful tools for linking nature conservation, natural resource management, and the demands of communities (society).
- The generation of cartography alluding to the multidimensional vision of development, with an ecological or eco-social sustainability approach based on the model used, allows evaluating the conflicts of interests (or trade-offs between eco-services) within a territorial space, and analyze them according to the model of sustainability characteristic of each plot of land (fragment or patch) that can be represented or evaluated.
- Knowing the role of ecosystem services on mitigation of natural risks allows defining and implementing strategies for the conservation of certain ecosystems (including agroecosystems) as a preventive measure in territorial planning. It also allows documenting the importance of the service and, in that way, obtaining access to monetary funds for its proper management and protection.
- Evaluating scenarios on the role of different vegetation cover patterns as mitigation for soil loss can demonstrate the importance of including ecosystem services for erosion regulation in land-use planning, including protection of large infrastructures. In the Gurabo \ Valenciano river basin, the risk of increasing sediment due to removal of the vegetation cover was quantified. This would affect the remediation costs of sediment extraction in the Carraízo reservoir, increasing the risk and frequency of clogging.
- Future scenarios of line-using planning, and their consequences on the provision of ecosystem services (conflicts, trade-offs between services, represented directly in the territory) constitute a highly useful method for decision-making. Each

sector of the territory (whether administrative or physical, such as a river basin) should have assessments based on the ecosystems present, and the services of major importance defined by the priority needs established by the local communities. Evaluations should also include the concept of ecosystem integrity, whose structure and role are necessary to ensure that the flow of services is not affected.

- Agroecosystem models based on the evaluation of the vegetation cover and related eco-services, bearing also in mind the assessable suitability of the territory to accommodate different crops, represent suitable alternatives for agricultural production to integrate into the overall planning territory. Their objective of reaching the supply and demand of local products, and achieving food sovereignty, can be made compatible with the maintenance of cultural services (education, tourism, etc.) and regulation.
- The combined use of GIS methodologies and multivariate analysis to analyze the suitability of soils to accommodate agricultural species, while assessing at the same the eco-services balance, to be affected by the different possible agroecological models, represents an innovative technique that contributes useful results to agricultural planning in large territorial extensions.
- Strategic planning as a management tool at local scales has proven to be a suitable method for obtaining consensual guidelines both for democratic governance and sustainable development. Likewise, adopting the multi-criteria sustainability assessment model as a strategy to investigate social needs and facilitate community participation has allowed the identification, and the organization of priorities included in the strategic plan guidelines.
- The sustainability assessment and representation model is also useful in defining the sustainable development scenarios that can serve as a goal for local governments, depending on their expectations and needs. The strategic guidelines

to be managed by the public sector were developed on the basis of the chosen scenario (ecological and social sustainability in the case of Caguas, PR).

- The methodologies applied in this work have the potential to be adapted for the analysis and evaluation of government plans (evaluation of plans and public policies), as demonstrated in the chapters on municipal strategic planning and river basin.