



CAMBIOS EN EL CORREDOR RIPARIO DE LA VEGA DEL RÍO ALBERCHE E INFLUENCIA DE LA REGULACIÓN DE CAUDALES.

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D^a WENDY AVILA BRITO

Tutor director:

Dr. DIEGO GARCÍA DE JALÓN

Tutor Académico:

Dr. DIEGO GARCÍA DE JALÓN

Alcalá de Henares, a 30 de septiembre de 2016



Dr. DIEGO GARCÍA DE JALÓN

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: “Cambios en el corredor ripario de la vega del río Alberche e influencia de la regulación de caudales”, ha sido realizado bajo mi dirección y tutorización académica, por el alumno D^a WENDY AVILA BRITO.

En Alcalá de Henares, a 30 de septiembre de 2016

Firmado:

Dr. DIEGO GARCÍA DE JALÓN

Docente e Investigador, ETSI de Montes, Universidad Politécnica de Madrid

Madrid, España

Índice

1. Resumen	6
2. Introducción.....	8
3. Objetivos.....	10
3.1. Objetivos Generales	10
3.2. Objetivos Específicos	10
4. Descripción del área de estudio	11
4.1. Situación geográfica.....	11
4.2. Región y cuenca vertiente	12
4.2.1. Geología.....	14
4.2.2. Coberturas de vegetación y usos del suelo.....	15
4.2.3. Unidades de paisajes	17
4.3. Segmento Fluvial.....	19
4.3.1. Morfología y dinámica del cauce	19
4.3.2. Vegetación de ribera en el segmento	19
4.4. Tramos Fluviales	20
4.4.1. Morfología y dinámica del cauce	20
5. Metodología.....	22
6. Resultados y discusión	26
6.1. Análisis de la evolución histórica del corredor ripario del río Alberche	26
6.2. Caracterización hidrológica.....	34
6.3. Influencia de la regulación de caudales sobre la evolución histórica del corredor ripario del Alberche.	37
7. Conclusiones	42
8. Bibliografía	43
Agradecimientos	46
Anexos.....	47
Anexo 1. Regresiones lineales y exponenciales entre variables morfológicas e hidrológicas, en diferentes tramos	47
Anexo 2. Mapas de coberturas del corredor ripario del río Alberche en los 4 tramos de estudio, en tres momentos diferentes: 1956, 1973 y 2014.	49

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de los tramos en estudio, río Alberche, España.	11
Figura 2. Visualización de los tres tramos principales del Alberche y su red de drenaje. De izquierda a derecha, resaltadas: cuenca alta, media y baja. Fuente: Adaptado de Díez Herrero, 2001	13
Figura 3. Red de drenaje principal de la cuenca del Alberche. Modificado: Red hidrográfica principal río Tajo, 2010	14
Figura 4. Litología cuenca del Alberche. Modificado: Mapa geológico de España, IGME, 2015	15
Figura 5. Coberturas del suelo, cuenca del Alberche, Corine Land Cover 2006, Nivel I.	16
Figura 6. Unidades de paisaje cuenca del Alberche. Modificado: Atlas de los paisajes de España, MAGRAMA, 2004	18
Figura 7. Perfil longitudinal río Alberche asociado a las unidades de paisajes	18
Figura 8. Perfil longitudinal del segmento fluvial en el que se encuadra los tramos de estudio	19
Figura 9. A) Imagen del cauce en el tramo 2; b) muestra de arena extraída del lecho fluvial en tramo 3.....	21
Figura 10. Ancho promedio del cauce activo en los 4 tramos de estudio (m)	26
Figura 11. Ancho promedio de la vegetación arbórea arbustiva en los 4 tramos de estudio (m)	27
Figura 12. Ancho promedio de plantaciones en los 4 tramos de estudio (m)	28
Figura 13. Evolución histórica del tramo 1 desde 1956 hasta 2014.....	29
Figura 14. Evolución histórica del tramo 2 desde 1956 hasta 2014.....	30
Figura 15. Evolución histórica del tramo 3 desde 1956 hasta 2014.....	31
Figura 16. Evolución histórica del tramo 4 desde 1956 hasta 2014.....	32
Figura 17. Variación temporal y espacial de coberturas en el corredor ripario del Alberche..	33
Figura 18. Caudales medios mensuales en el año hidrológico.....	35
Figura 19. Tendencia de caudales máximos medio-anales	36
Figura 20. Tendencia de caudales medios anuales.....	36
Figura 21. Tendencia de caudales mínimos medio-anales.....	37
Figura 22. Regresiones lineales y exponenciales entre variables morfológicas e hidrológicas	38
Figura 23. Regresiones lineales y exponenciales entre variables morfológicas e hidrológicas	39

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas UTM tramos de estudio	12
Tabla 2. Características morfológicas de los tramos en estudio	20
Tabla 3. Valores promedios de caudales para los tres periodos estudiados	37
Tabla 4. Valores promedios de variables morfológicas para los tres momentos estudiados (A) (metros)	38
Tabla 5. Valores promedios de variables morfológicas para los tres momentos estudiados (B)	38

1. RESUMEN

Los corredores riparios son ecosistemas claves que conectan áreas de importancia biológica, se ven afectados por la hidrología, que es el agente dinamizador del sistema morfológico. La hidrología a su vez, es alterada por acciones antrópicas, principalmente por la regulación mediante presas. Existe información disponible sobre los impactos longitudinales de las represas en la vegetación riparia, pero no existe información específica acerca de la tasa de cambio de la vegetación en el tiempo, por ello su estudio reviste un gran interés. En este trabajo se analizan los cambios temporales y espaciales en el corredor ripario de un río, y la influencia de la regulación de caudales sobre los mismos. El estudio aquí presentado corresponde al río Alberche (cuenca del Tajo), de 180 km de longitud. En dicho río se han medido variables morfológicas del corredor ripario (anchura promedio del cauce activo, vegetación y plantaciones, número de discontinuidad, índice de trenzamiento, etc), sobre cuatro tramos de entre 3 y 3.4 km de longitud, y en 3 momentos diferentes (1956, 1973 y 2014); y ha analizado la evolución del régimen de caudales en tres periodos (1955-1964, 1965-1984 y 1985-2013). Los resultados más interesantes muestran que en todos los tramos estudiados, existe una relación significativa entre el ancho del cauce activo y de la vegetación de ribera, con las variables de caudal (máximos, medios y mínimos). Mientras que los caudales durante los tres periodos analizados disminuyen, el ancho del cauce activo también disminuye y el ancho de la vegetación aumenta, en un patrón constante en los cuatro tramos. Se confirma que los cambios observados en el corredor fluvial de la vega del río Alberche, principalmente el estrechamiento del cauce y la invasión de la vegetación, son causados principalmente por la regulación de caudales.

ABSTRACT

Riparian corridors that are affected by hydrology, a morphological boost for the ecosystem, are key ecosystems that connect areas of biological importance. Hydrology in its turn is altered by human actions and mainly by the regulation through dams. There is information available about the longitudinal impact of dams on riparian vegetation, but there is no specific information about the rate change of vegetation over time, so their study is of great importance. Said article analyses the temporal and spatial changes in the riparian corridor of a river, and how flow regulation influences them. The present study corresponds to the Alberche River (Tagus basin) with 180 km of longitude. In this river, morphological variables of the riparian corridor (average active channel width, vegetation and plantations, number of discontinuity, braiding index, etc.) were measured on three different occasions, by using different areas of between 3 and 3.4 km in length (1956, 1973 and 2014); and the evolution of the flow regime has been analysed in three periods (1955-1964, 1965-1984 and 1985-2013). The most interesting results show that in all the sections studied, there is a significant relationship between the width of the active channel and riparian vegetation, with the flow variables (maximum, average and minimum). While the flow rates and the width of the active channel decreased during the three periods analyzed, the width of vegetation increased in a constant pattern in the four sections. It is confirmed that the observed changes in the river corridor of the valley of the Alberche River, mainly the narrowing of the invasion of vegetation, are mainly caused by flow regulation.

2. INTRODUCCIÓN

Los corredores ecológicos son espacios que conectan áreas de importancia biológica para mitigar los impactos negativos provocados por la fragmentación de los hábitats (Conrad et al., 2011, en García Quiroja et al., 2014). Uno de los más importantes corredores ecológicos que se encuentran en el medio natural son los ecosistemas riparios. Su trascendencia reside en el valor natural y paisajístico que poseen, además de la función protectora de los cauces que desempeñan (García Arias et al, 2011).

Por su parte, el régimen hidrológico juega un papel importante en la preservación y restauración de los componentes y procesos de los ecosistemas fluviales, tanto directa como indirectamente a través de su efecto sobre la características físicas que subyacen a las comunidades biológicas (Bejarano, 2010). El represamiento de un río y la regulación de los caudales impactan en gran medida al corredor ripario, tanto en términos de la aceleración de la tasa de estrechamiento del cauce activo como a la biomasa total de la comunidad vegetal posterior a la regulación (Tealdi et al., 2011, en González del Tánago, 2015). Esto es, los cambios en el régimen de caudales afectan a la distribución y cantidad de la vegetación de ribera que, a su vez, también pueden cambiar las respuestas geomorfológicas (González del Tánago et al, 2015).

En la actualidad, son pocos los caudales de los ríos que se mantienen inalterados. La regulación del flujo en los ríos, es uno de los más prominentes impactos humanos en los ecosistemas de agua dulce (Palmer et al. 2008). Hay más de 45.000 grandes presas en todo el mundo (de más de 15 m de altura), reteniendo el 15% de la esorrentía total anual mundial (Nilsson et al., 2005, en González del Tánago et al., 2016).

En España, las presas y los embalses se consideran la principal causa de la modificación del cuerpo de agua en el contexto de la aplicación de la Directiva Marco del Agua Europea (CE, 2000; García de Jalón, 2003; Lorenzo-Lacruz et al, 2012; en González del Tánago et al, 2015), alterando el régimen hidrológico natural de los ríos. España contiene más de 1200 grandes presas, y siguen siendo relativamente pocos los ríos en condiciones de flujo libre (González del Tánago et al. 2012).

A pesar del gran número de presas en todo el mundo, hay poca información específica disponible sobre los impactos longitudinales de las represas en la vegetación, por ejemplo, hasta

qué punto aguas abajo y en qué grado de regulación de una presa en un río puede influir en los bosques de ribera, componente vital de los ecosistemas fluviales (Bejarano et al, 2011). En este sentido, el presente trabajo busca ampliar los conocimientos acerca de las respuestas de la vegetación, y en general, de las características morfológicas del corredor ripario a la regulación, mediante un estudio desarrollado en el río Alberche.

El río Alberche es uno de los ríos de España en el que se han observado cambios morfológicos interesantes desde que inició su periodo de regulación mediante múltiples presas.

La cuenca del río Alberche comprende una superficie total de 4.104 km². El río Alberche recorre aproximadamente 177 km, y discurre por las comunidades autónomas de Castilla y León, Madrid y Castilla-La Mancha. Es el décimo quinto afluente importante del río Tago por su margen derecha (Díez Herrero, 2001). Administrativamente se ubica entre los términos municipales de La Herguijuela y San Martín de la Vega del Alberche (Ávila, Castilla y León). Este río se encuentra regulado, con más de 19 presas de embalses en toda su cuenca vertiente, con grandes repercusiones sobre los regímenes fluviales. Entre ellas se destacan las cinco presas de embalses más importantes: Burguillo y Charco del Cura (Ávila); San Juan y Picadas (Madrid); y Cazalegas (Toledo), todas ellas localizadas en el cauce principal.

En el presente trabajo se han seleccionado cuatro tramos de estudio, ubicados en la vega del río Alberche, en los cuales se pretende estudiar los cambios en el corredor ripario y la influencia de la regulación de presas, mediante un análisis multitemporal del régimen de caudales y de los distintos tipos de coberturas del suelo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GENERALES

Estudiar los cambios en el corredor ripario de la vega del río Alberche y la influencia de la regulación de presas, mediante un análisis multitemporal del régimen de caudales y de los distintos tipos de coberturas del suelo en cuatro tramos diferentes.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los cambios en el tiempo de los distintos tipos de coberturas del corredor fluvial, principalmente de la vegetación de ribera.
- Analizar la evolución del régimen de caudales mediante series de datos históricos.
- Determinar cómo ha podido influir los cambios en el régimen de caudales sobre la evolución histórica del corredor ripario en la vega del río Alberche.

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este apartado se realiza una caracterización de la zona de estudio atendiendo a diferentes escalas espaciales (región, cuenca, unidad de paisaje, segmento fluvial y tramos).

4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El presente trabajo se realiza en cuatro tramos ubicados en el Alberche meridional (cuenca baja o vega baja del río Alberche), en un segmento que comprende desde la desembocadura del río Perales hasta el embalse Cazalegas, entre las provincias de Madrid y Toledo (Figura 1).

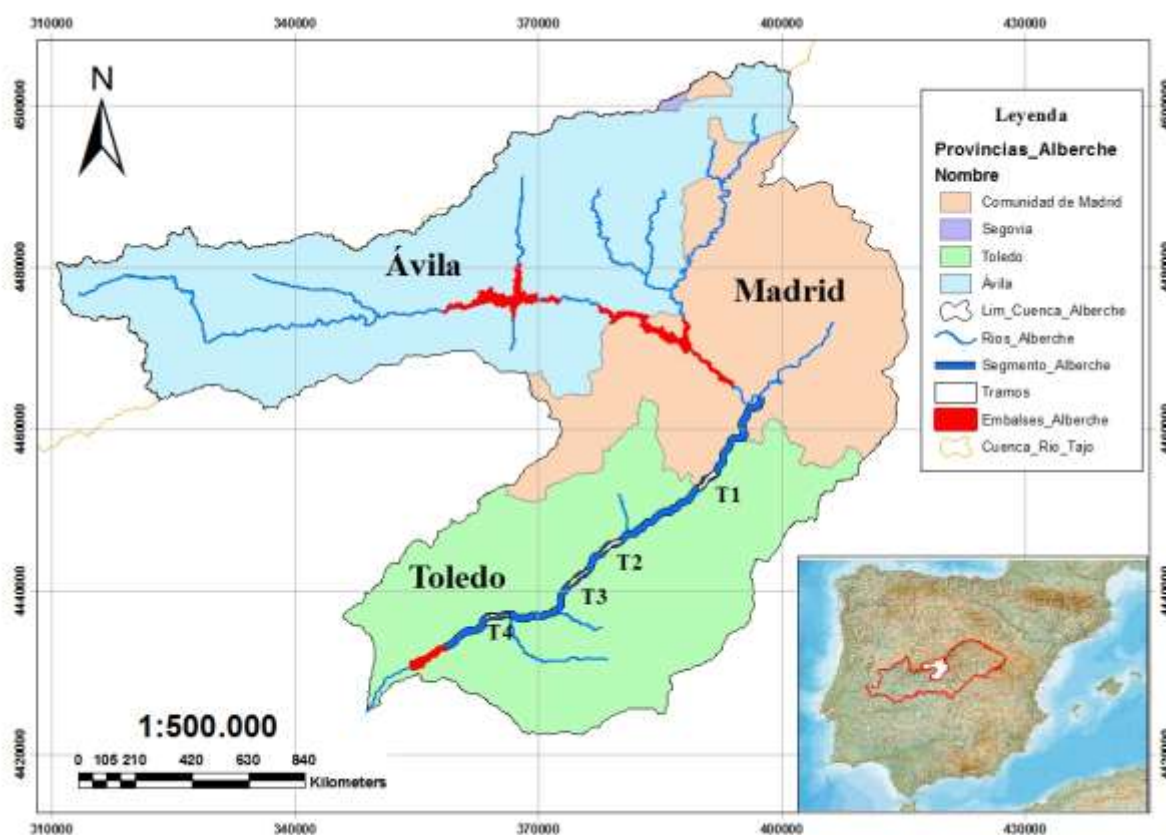


Figura 1. Ubicación geográfica de los tramos en estudio, río Alberche, España.

(T1 = tramo 1; T2 = tramo 2; T3 = tramo 3; T4 = tramo 4)

En base a los criterios expuestos en la metodología se seleccionaron cuatro tramos para el estudio, los cuales se ubican en las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Coordenadas UTM tramos de estudio

Tramo	Coordenadas UTM				Longitud (m)	Altura (m)
	Inicio		Final			
	X	Y	X	Y		
Tramo 1	391918,396	4454643,740	389718,918	4452744,191	3000	436
Tramo 2	380193,479	4446345,878	377651,337	4444692,120	3200	415
Tramo 3	376077,669	4442650,637	373614,195	4440656,093	3250	406
Tramo 4	366333,924	4437208,410	363356,703	4436702,905	3125	392

4.2. REGIÓN Y CUENCA VERTIENTE

Los tramos en estudio pertenecen a la región del Mediterráneo, específicamente a la provincia biogeográfica del Mediterráneo Ibérica Occidental, y su región bioclimática es el Mediterráneo pluviestacional continental Mpc (www.globalbioclimatics.org). La cuenca del Alberche se sitúa en la zona central, ligeramente centro-occidental de la península Ibérica, entre dos grandes unidades geográficas: el Sistema Central español y la submeseta meridional o Cuenca del Tajo.

El río Alberche tiene su nacimiento en el manantial de Fuente, situado sobre la loma de la Cañada Alta en las inmediaciones del cerro Moros (Sierra de Piedrahita o de Villafranca, Gredos oriental, Sistema Central español), a aproximadamente 1800 m.s.n.m, recorre una longitud de 180 km hasta su desembocadura en el río Tajo a 373 m.s.n.m, y su extensión total es de 4109 km², que abarca las provincias de Ávila, Madrid y Toledo (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

Su trazado es fundamentalmente lineal con meandros de escasa amplitud, salvo el que describe en las proximidades de su confluencia con el río Perales (paraje de El Santo). Dibuja en planta una amplia curva hiperbólica tumbada, a lo largo de la cual pueden reconocerse tres tramos bien diferenciados según la dirección preferente que adopta el río (Díez Herrero, 2001):

Alberche occidental (cuenca alta o valle del alto Alberche): comprende desde el nacimiento hasta la confluencia con el arroyo de Tórtolas (unos 90 km), de orientación manifiesta oeste-este, recorre las estribaciones de Gredos oriental (sierras de Villafranca, La Serrota, Paramera y del Valle) (Figuras 2 y 3).

Alberche central (o cuenca media): comprende desde la confluencia con el arroyo de Tórtolas hasta el meandro de El Santo (unos 20 km), aguas arriba de la unión con el río Perales, discurriendo con orientación manifiesta noroeste-sureste. En este sector atraviesa los piedemontes del contacto entre las sierras de Gredos oriental y Guadarrama occidental, y recibe como principal afluente por su margen izquierda al río Cofio, tributario más significativo del Alberche por su longitud (47,28 km) y aportación hídrica (Figuras 2 y 3).

Alberche meridional (cuenca baja o vega baja del Alberche): comprende desde el meandro de El Santo hasta la desembocadura al Tajo (unos 70 km), con orientación preferente noreste-suroeste; el cambio respecto al tramo anterior (Alberche central), ortogonal a éste, se produce mediante el trazado del propio meandro de El Santo. En este sector, el Alberche discurre por el límite entre el margen septentrional de la Cuenca del Tajo (submeseta meridional) y las estribaciones del Sistema Central (sierras de la Higuera y San Vicente), siendo los principales tributarios: el río Perales y el arroyo Grande por la margen izquierda, y el arroyo de la Parra por la orilla derecha. El primero de ellos, el río Perales, es el segundo tributario del Alberche en orden de importancia por su longitud (40,74 km) y caudal (Figuras 2 y 3).

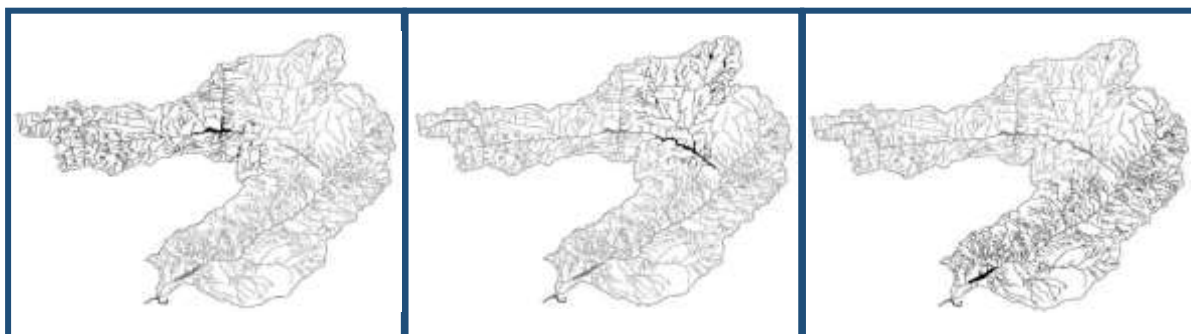


Figura 2. Visualización de los tres tramos principales del Alberche y su red de drenaje. De izquierda a derecha, resaltadas: cuenca alta, media y baja. Fuente: Adaptado de Díez Herrero, 2001

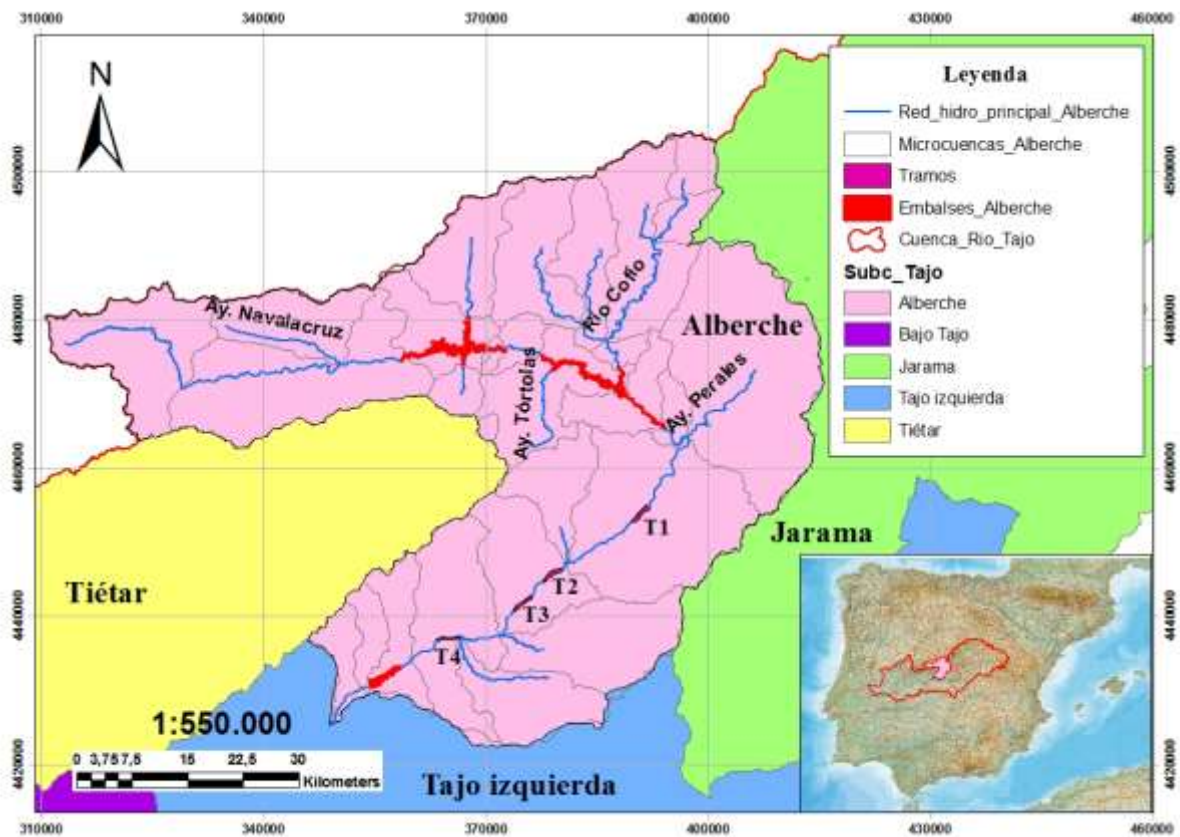


Figura 3. Red de drenaje principal de la cuenca del Alberche. Modificado: Red hidrográfica principal río Tajo, 2010

4.2.1. Geología

La cuenca del Alberche se ubica en la zona central de la Placa Ibérica, uno de los bloques litosféricos situados entre las grandes placas Europea o Euroasiática (al norte) y Africana (al sur). Las redes de drenaje del Alberche fluyen sobre substratos del tipo de rocas ígneas y metamórficas que constituyen la Cordillera Central y sus plataformas morfológicas adyacentes; y por el conjunto sedimentario de depósitos del tipo arcósico que forman parte del área occidental de la cuenca cenozoica de Madrid (Gómez-Elvira González, 2015).

Las facies correspondientes a estos ambientes presentan un gradiente granulométrico que va desde los bordes, donde aparecen los elementos más gruesos, al centro de la cuenca donde se encuentran los elementos más finos. Hacia el interior de la cuenca, las arenas disminuyen rápidamente de tamaño de grano (facies medias del abanico y comienzan a tener importantes niveles de depósitos de tamaño fino de arcillas y limos propios de las llanuras de inundación (facies distales del abanico) (Díez Herrero, 2001). El río Alberche en el segmento de estudio se

engloba en una estructura llamada Depresión-Fosa del Tajo, que fluye sobre substratos de gravas, conglomerados, arenas y limos (Figura 4)

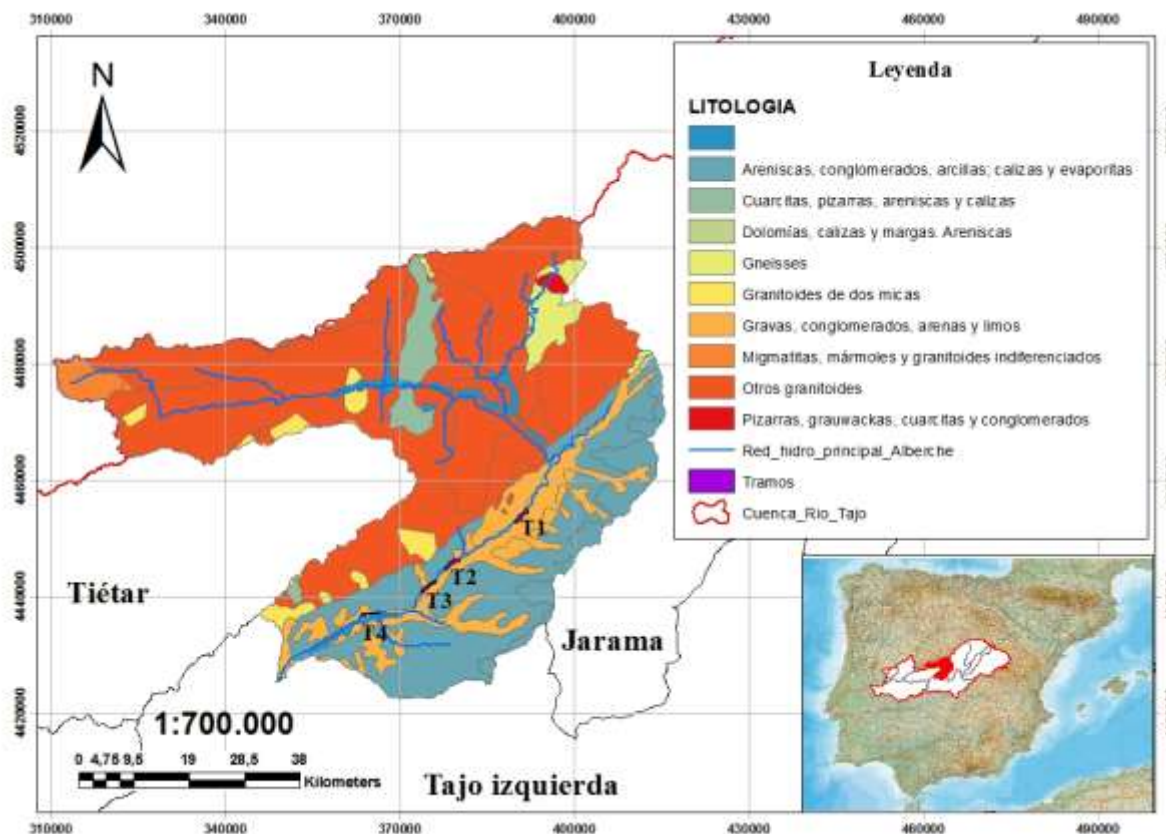


Figura 4. Litología cuenca del Alberche. Modificado: Mapa geológico de España, IGME, 2015

4.2.2. Coberturas de vegetación y usos del suelo

Según las series de vegetación de Rivas Martínez (1982), la zona de estudio corresponde a la serie mesomediterránea luso-extremadurensis silicícola de *Quercus rotundifolia* o encina (*Pyrobourgaena-Querceto rotundifoliae sigmetum*). Los encinares de los sectores topográficamente más bajos de la Cuenca Hidrográfica del Alberche (<500 msnm; vega del Bajo Alberche) presentan junto a las encinas otras especies: piruétano o peral silvestre (*Pyrus bourgaeana*), alcornoques (*Quercus suber*) y quejigos (*Quercus faginea subsp. broteroi*); las etapas de sustitución arbustivas son de maquía o garriga, formada por fanerofitos perennifolios como *Quercus coccifera*, *Phillyrea angustifolia*, *Jasminum fruticans*, *Arbustus unedo*, *Rhamnus alaternus*, etc.; las etapas herbáceas presentan especies vivaces y anuales que en ocasiones

constituyen majadales: *Poa bulbosa*, *Trifolium glomeratum*, *Trifolium subterraneum*, *Psilurus incurvus*, *Bellis annua*, *Bellis perennis*, *Erodium botrys*, etc.

La vegetación de ribera consiste en especies arbóreas y arbustivas en bandas en torno a la lámina o punto de descarga de agua, aunque se encuentra muy alterada por impactos antrópicos, transformándolos en monocultivos. Las especies más comunes son los sauces (bardaguera, *Salix atrocinerea*; blanco, *Salix salvifolia*), alisos (*Alnus glutinosa*), avellanos (*Corylus avellana*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*), chopos (*Populus sp.*), álamos negros (*Populus nigra*), olmos de montaña (*Ulmus glabra*) y cerezos (*Prunus avium*). En el sotobosque son frecuentes los helechos (*Athyrium filix-femina* y *Osmunda regalis*), cárices (*Carex paniculata* subsp. *lusitanica* y *Carex remota*) y prunela (*Prunella vulgaris*). Próximo a la lámina de agua y entre los bloques y cantos es frecuente reconocer macollas de la cárice de Reuter (*Carex elata* subsp. *reuteriana*), junto con pampanillos (*Hypericum undulatum*), menta de caballo (*Mentha longifolia*), galio de Brotero (*Galium broterianum*) y nabo del diablo (*Oenanthe crocata*). A nivel general (Nivel I, Corine Land Cover 2006), los usos del suelo principales del segmento de estudio son el forestal y agrícola (Figura 5).

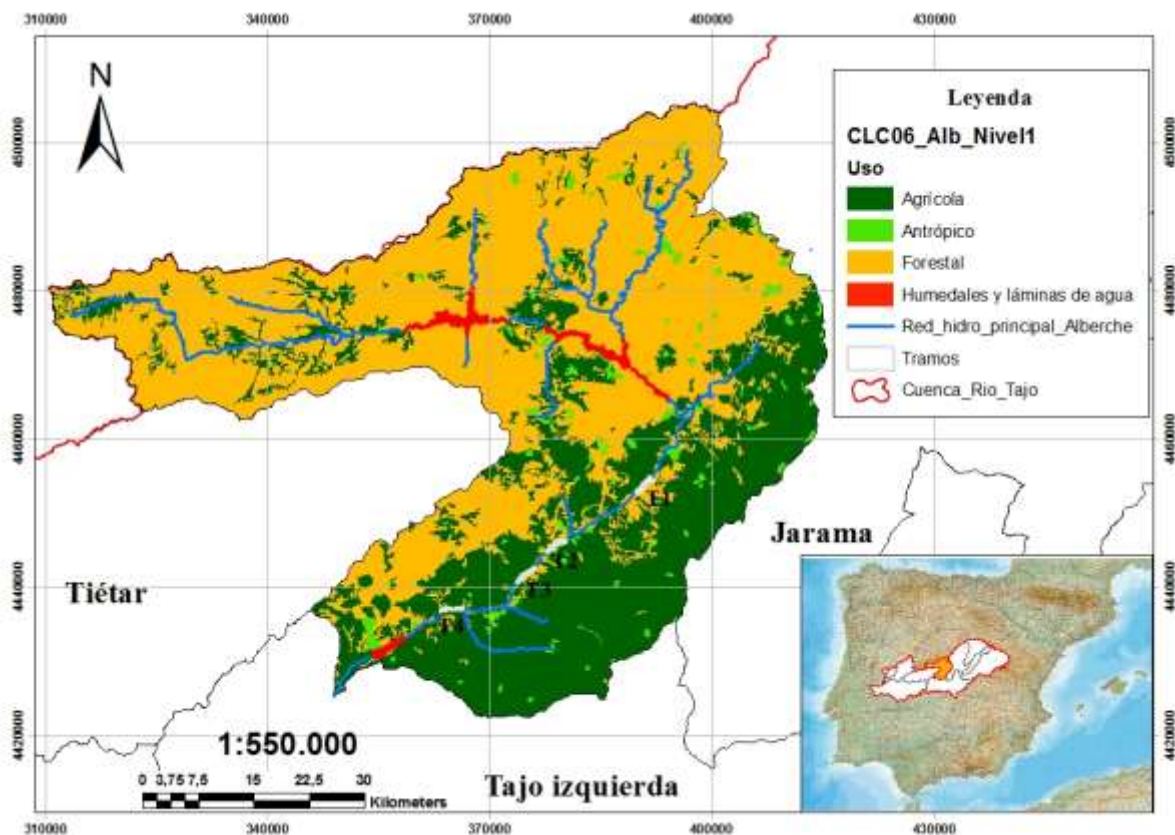


Figura 5. Coberturas del suelo, cuenca del Alberche, Corine Land Cover 2006, Nivel I.

4.2.3. Unidades de paisajes

A grandes rasgos, en la cuenca del río Alberche se reconocen dos unidades de paisajes principales: la sierra y el llano; que corresponden casi perfectamente con las dos grandes unidades geológicas de las que participa la cuenca: el sistema central español (macizo hispérico) y la cuenca de Madrid (cuenca del Tajo), respectivamente (Figuras 6 y 7).

Tanto en la sierra como en el llano, se identifican varias asociaciones de tipos de paisajes de la clasificación realizada para España (Atlas de los paisajes de España, 2011), así:

- Sierra (Tramo alto y medio de la Cuenca del Alberche): Macizos montañosos del interior ibérico; Sierras y montañas mediterráneas continentales; Cuencas, hoyas y depresiones; y Penillanuras y piedemontes. La sierra comprende una topografía de alta y media montaña, y piedemonte.
- Llano (Tramo bajo de la Cuenca del Alberche): Cuencas, hoyas y depresiones; Campiñas; Llanos interiores; y Vegas y riberas. El llano comprende una topografía de llanuras y vegas.

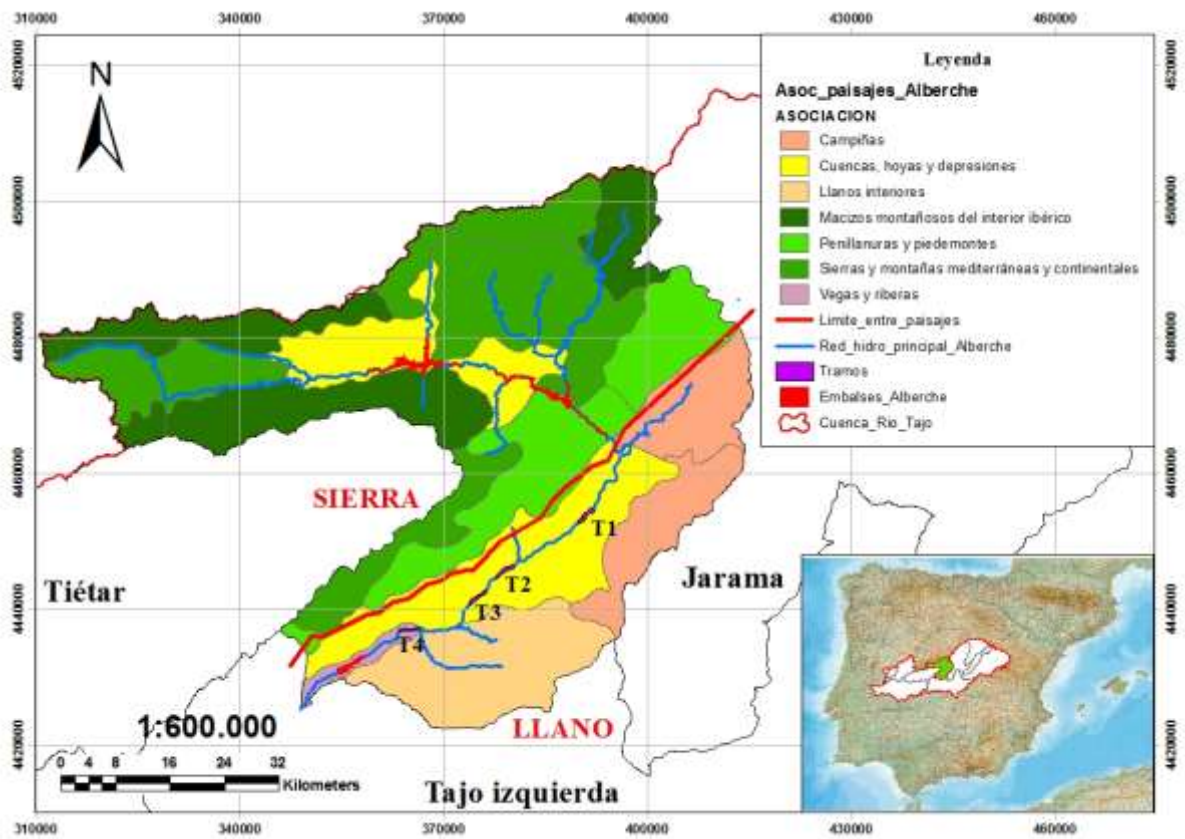


Figura 6. Unidades de paisaje cuenca del Alberche. Modificado: Atlas de los paisajes de España, MAGRAMA, 2004

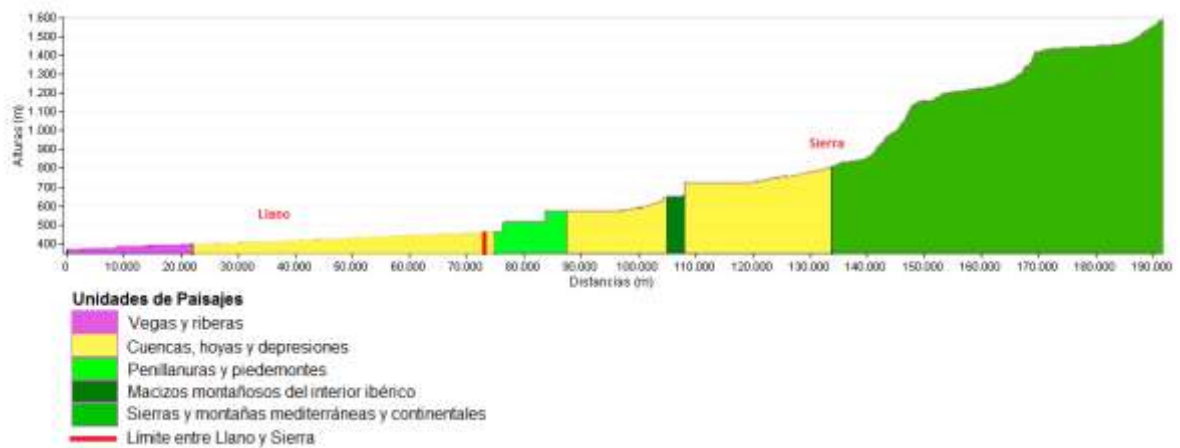


Figura 7. Perfil longitudinal río Alberche asociado a las unidades de paisajes

4.3. SEGMENTO FLUVIAL

4.3.1. Morfología y dinámica del cauce

El segmento de estudio se limita entre la desembocadura del Río Perales en el Alberche y la cola del embalse Cazalegas. Naturalmente el segmento terminaría en la desembocadura del Alberche en el río Tajo, pero el embalse Cazalegas altera esta naturalidad, conformando un límite antrópico del segmento (Figura 8). La longitud del mismo es de 53,3 km, con una altitud máxima de 452,5 m y mínima de 385,8 m, generando un desnivel de 66,7 m y una pendiente promedio del cauce de 0.1% (Figura 8). Presenta un patrón recto pero ligeramente sinuoso (1,07), en algunas secciones con múltiples cauces separados por barras medias longitudinales (la mayoría vegetadas), con carga fundamentalmente arenosa (río entrelazado sinuoso de arenas). Este segmento en particular, se encuentra parcialmente confinado sobre un tipo de valle abierto, cuya anchura media es de 1027 m.

Los procesos fluviales a través de sus procesos de erosión, transporte y sedimentación, durante las crecidas pueden generar cierta peligrosidad natural (Díez Herrero, 2001). Si bien el río Alberche no transporta gran cantidad de materiales en suspensión, la erosión que se genera durante estos eventos en el lecho y los márgenes, aumentan la movilización de materiales que generan una degradación en las orillas.

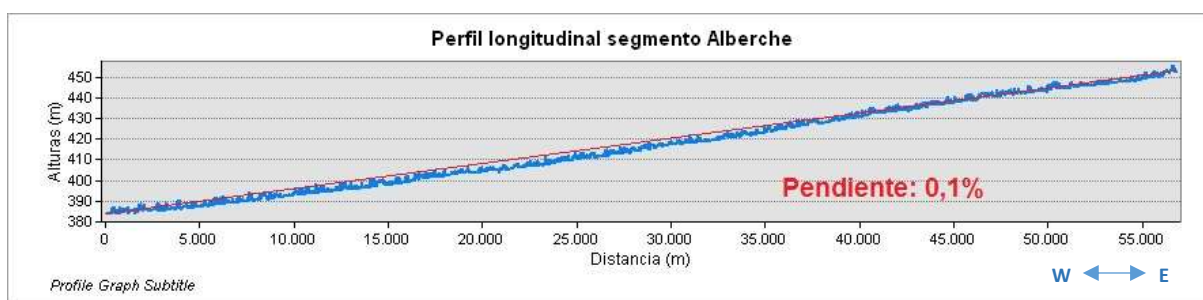


Figura 8. Perfil longitudinal del segmento fluvial en el que se encuadra los tramos de estudio

4.3.2. Vegetación de ribera en el segmento

La anchura media del corredor ripario actualmente es de aproximadamente 398 m. Por lo general el bosque de ribera del segmento se encuentra en buen estado de conservación, especialmente por su incorporación a zona LIC. Según observaciones realizadas en una visita de campo a un sector del área de estudio, se evidencia que el cauce del Alberche mantiene aguas muy limpias como indica la existencia de alisedas. En la llanura de inundación (islotas y barras

con depósitos aluviales de tipo limo-arenoso), se puede encontrar vegetación ripícola y pastizales, fuera de los episodios de excepcionales avenidas en que se mantienen anegadas. Es un ambiente que presenta una gran estratificación. En su estrato superior se encuentra compuesta por alisos (*Alnus glutinosa*), sauces (*Salix alba*, *Salix salvifolia*), álamos blancos (*Populus alba*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y chopos (*Populus nigra*). En el sotobosque encontramos en el estrato arbustivo muchas especies espinosas, como majuelos (*Crataegus monogyna*), zarzamora (*Rubus ulmifolius*) y tarajes (*Tamarix gallica*). A su vez, son bastante frecuente los helechos (*Athyrium filix-femina* y *Osmunda regalis*), cárices (*Carex paniculata* subsp. *lusitanica* y *Carex remota*) y prunela (*Prunella vulgaris*). Algunas zonas se componen de densos juncales (*Scirpus* sp.), espadañas (*Typha domingensis* y *T. latifolia*) y carrizales (*Phragmites australis*).

4.4. TRAMOS FLUVIALES

4.4.1. Morfología y dinámica del cauce

Los tramos de estudio oscilan entre los 3000 y 3250 metros de longitud, tienen una anchura de cauce activo promedio de 42 metros, una profundidad promedio de 0.6 m, y una pendiente longitudinal del cauce de 0.1%. La anchura media del corredor ripario es de aproximadamente 398 m, considerando las barras e islas vegetadas como parte del mismo. En la tabla 2 se describe la morfología de cada cauce.

Tabla 2. Características morfológicas de los tramos en estudio

Características morfológicas	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
Longitud (m)	3000	3200	3250	3125
Profundidad promedio (m)	0,70	0,67	0,43	0,58
Altura máxima (m)	438	417	408	394
Altura mínima (m)	434	413	404	390
Pendiente longitudinal (%)	0,0013	0,0013	0,0012	0,0013
Índice de trenzamiento It	2,4	2,6	2,3	2,2
Ancho medio cauce activo (m)	38,6	34,3	53,9	42,20
Ancho medio corredor ripario (m)	486,5	336,5	310,5	297
Distancia a la última presa aguas arriba (km)	18,6	34	40	53

En general, los cuatro tramos pueden ser clasificados como de cauces múltiples con islas y barras vegetadas y estabilizadas, de frecuencia regular (Figura 9a), río entrelazado de arenas, con un índice de trenzamiento (It) entre 1.9 en el tramo 4, y 2.6 en el tramo 2 (Tabla 2). El lecho fluvial del río está formado por arenas (Figura 9b). En la visita realizada al área de estudio, se

pudo observar en el cauce, la formación de *ripples* producto de la saltación de las partículas, y a través de una cámara de video, también se pudo observar que la carga de sedimentos transportados era relativamente baja, probablemente por el bajo caudal que en el momento de la observación llevaba el río.

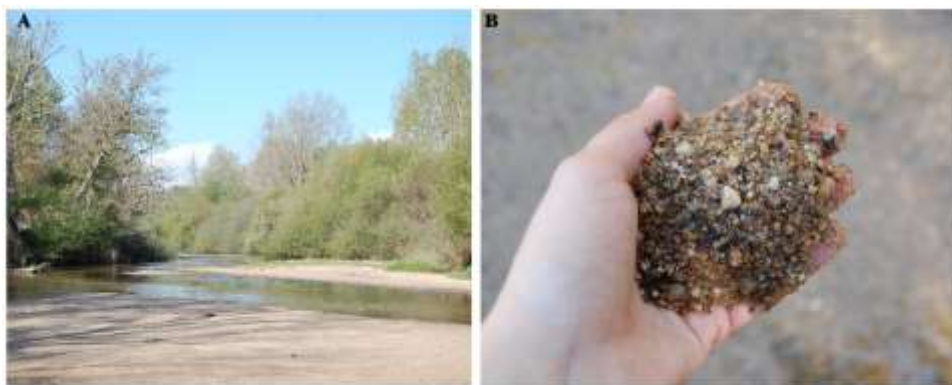


Figura 9. A) Imagen del cauce en el tramo 2; b) muestra de arena extraída del lecho fluvial en tramo 3.

5. METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo, donde se pretende estudiar la influencia de la regulación hídrica sobre el corredor ripario de la vega del río Alberche, se propone realizar un análisis multitemporal del régimen de caudales y de los distintos tipos de coberturas y usos del suelo en cuatro tramos diferentes. Lo anterior se realiza en una serie de pasos.

Recolección de la información secundaria, identificación y selección de tramos de estudio

Como primer paso, se realiza la recolección de la información secundaria: datos de aforos de caudales históricos y actuales; imágenes satelitales y fotos áreas del corredor ripario del río Alberche, actuales e históricas; coberturas del suelo; y otra información útil al trabajo como geología y paisajes.

Luego se realiza el procesamiento y análisis de la información, inicialmente con la identificación y selección de los tramos de río más modificados en el tiempo, en relación a la cobertura de la vegetación riparia. La selección de tramos se realiza siguiendo tres criterios: 1. los que tengan mayor cobertura de vegetación actual respecto a la histórica; 2. los que tengan mayor cobertura de vegetación natural que plantaciones en zonas de riberas y vegas; y 3. se escogen tramos con una longitud más o menos homogénea entre de 3 y 3.4 km, longitud considerada suficiente para realizar los análisis morfológicos. Se seleccionan cuatro (4) tramos en total.

Análisis morfológicos

Los análisis morfológicos se realizan a distintas escalas espaciales (región, cuenca, unidad de paisaje, segmento fluvial y tramos), mediante herramientas SIG (ArcMap 10.3.1 y Global Mapper 17), tanto para condiciones históricas como actuales, basados en fotografías aéreas de 1956, 1973 y PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) máxima actualidad 2014. Se calcula la distancia de los tramos a la última presa aguas arriba; longitud, altura y pendiente longitudinal del cauce; anchura media, profundidad e índices de trenzamiento (I_t) del cauce activo; anchura media y número de discontinuidad de la vegetación natural; y anchura media de plantaciones. Se considera ancho del cauce activo la anchura del cauce del río entre los márgenes interiores de las bandas de vegetación de ribera, incluidas barras de grava adjuntas y otros depósitos de sedimentos sin vegetación visibles en las fotografías aéreas (González del Tánago, et al, 2015). Para obtener la anchura media, se mide y promedia el ancho del cauce

activo en 10 secciones transversales al cauce, que dividen la longitud de los tramos en partes iguales. Análogo se hizo para medir la anchura media de la vegetación natural y de las plantaciones. La profundidad se mide y promedia en 10 perfiles transversales al cauce, trazados en cada tramo, con la herramienta “3D path profile” del programa Global Mapper 17, y utilizando un modelo de elevación digital con una resolución espacial de 5 m (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>). La pendiente media del canal fluvial se calcula como la diferencia de elevación (en metros) entre dos puntos del sistema fluvial dividido por la distancia (en kilómetros) que los separa. La profundidad y la pendiente se miden únicamente para la condición actual. El índice de trenzamiento se calcula como el número medio de canales activos separados por barras (Egozi y Ashmore, 2008). La discontinuidad de la vegetación se mide, inventariando sobre fotografías aéreas, todos los elementos que rompan la continuidad del corredor ribereño en cada una de las márgenes del curso fluvial (Ollero Ojeda, 2009).

Luego, la evolución de los distintos tipos de coberturas del suelo, se analizan igualmente mediante la comparación de fotografías aéreas de 1956, 1973 y 2014, en las cuales, utilizando la herramienta ArcMap 10.3.1, se digitalizan y cuantifican en hectáreas, 8 tipos de coberturas del suelo definidas para este estudio: 1. Cauce activo (agua y sedimentos) 2. Vegetación arbórea y arbustiva 3. Pastos 4. Plantaciones 5. Agrícola 6. Suelo desnudo 7. Urbano y 8. Lámina de Agua. Estas coberturas se analizan dentro del corredor ripario de cada tramo, cuyo límite se define en base al relieve del terreno, generalmente donde existe un desnivel superior a 2 o 5 metros, y es el mismo para todos los años.

Las condiciones actuales se caracterizan mediante un modelo de elevación digital con una resolución espacial de 5 m, mapas de cobertura terrestre CORINE 2006, y ortofotografías con tamaño de pixel de 0.5 m, del año 2014, PNOA máxima actualidad (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>). Las condiciones históricas se caracterizan mediante fotogramas del territorio, realizados en los vuelos fotogramétricos Americano Serie B de 1956 e Interministerial de 1973 (<https://fototeca.cnig.es/>). Estos fotogramas han sido georeferenciados en el programa ArcMap 10.3.1, con la herramienta “Georeferencing”, utilizando como base las ortofotografías del 2014 en las que se identifican los distintos puntos de control para la georeferenciación.

Además, se realiza una visita de campo simbólica, en un sector del tramo 2, el 15 de abril de 2016, a la altura de la población de Escalona, para el reconocimiento de la zona de estudio, principalmente para observar características de vegetación riparia, y verificar la información secundaria obtenida.

Análisis hidrológico

El análisis hidrológico se realiza utilizando los caudales medios diarios, históricos y actuales, obtenidos de dos estaciones de aforos: Escalona 3183 (datos disponibles 1969-2013) y Cazalegas 3115 (datos disponibles 1955-1986), del Anuario de Aforos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX (disponible en <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>). Se hace un único análisis hidrológico común a todos los tramos, por ser las estaciones Escalona y Cazalegas las más cercanas a todos los tramos de estudio y con la mayor disponibilidad de información, en cantidad, calidad y número de años.

Para este análisis, se necesita una serie única de datos que pertenezcan a un mismo punto de aforo, en este caso se elige la estación Escalona, por tener el mayor número de datos. Pero se reconstruye la serie de caudales medios diarios de aquellos años en los que la estación Escalona no tiene información pero sí la de Cazalegas (1955- 1968).

Mediante un gráfico de dispersión de los datos coincidentes entre ambas estaciones (1969-1986), se obtiene la fórmula de tendencia lineal, en la cual se reemplaza los valores de caudales que existen para Cazalegas (1955- 1968) pero no para Escalona, obteniendo así los valores esperados.

A partir de la serie única de datos (1955-2013), se calculan los caudales máximos, medios y mínimos promedio anual, caudales medios mensuales y caudal promedio diario interanual para tres periodos (1955-1964; 1965-1984; y 1985-2013). Se asume el criterio que cada periodo, es representativo de las condiciones de caudal de los años en que fue analizada la morfología (1956, 1973 y 2014). Idealmente, para evaluar los efectos de la regulación de flujos es importante caracterizar el régimen de caudales antes y después de presas, sin embargo esto no se hace en este trabajo debido a la falta de estaciones y datos de aforos confiables y en cantidad suficiente, antes de la construcción de presas. Por otra parte, debido a la distancia que existe

entre el tramo estudiado y los embalses reguladores, las características físicas y biológicas de los tramos aguas arriba de la presa son totalmente diferentes.

Relación de datos morfológicos e hidrológicos, y su interpretación

Finalmente, mediante distintos tipos de regresiones (lineal, exponencial y potencial) entre los resultados obtenidos en ambos análisis, tanto hidrológicos como morfológicos, se busca determinar, si acaso existieran relaciones directas entre las variables, cómo han podido influir los cambios en el régimen de caudales sobre la evolución histórica del corredor ripario del río Alberche.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CORREDOR RIPARIO DEL RÍO ALBERCHE

Tras procesar y analizar la serie de fotografías históricas disponibles, se observa que los tramos han mantenido su forma en el tiempo (Figuras 13 a 16), con un cauce múltiple trenzado, cuyo índice de trenzamiento (I_t) actualmente, varía en promedio, entre 2.2 y 2.6. En el tiempo, el grado de variación del I_t está entre 0 y 1, presentándose los mayores cambios entre 1956 y 1973, como resultado de la dinámica de este tipo de cauces.

Los mayores cambios que se evidencian como un patrón constante en todos los tramos son, el estrechamiento del cauce activo y el aumento del ancho promedio de la vegetación riparia.

Anchura del cauce activo

El cauce activo que en 1956 presentaba una anchura promedio entre 198 m y 254 m, se redujo en todos los tramos, mayormente a 1973, esto es, durante los primeros 16 años del periodo estudiado, con una tasa de reducción calculada que va desde **7.9** m/año en el tramo 2, hasta **9.5** m/año en el tramo 3. Entre 1973 y 2014, es decir, durante los siguientes 41 años del periodo estudiado, la tasa de estrechamiento del cauce activo fue mucho menor, entre **0.5** m/año en el tramo 4 hasta **1.8** m/año en el tramo 2, alcanzando una anchura promedio actual entre 34 y 54 metros (Figura 10).

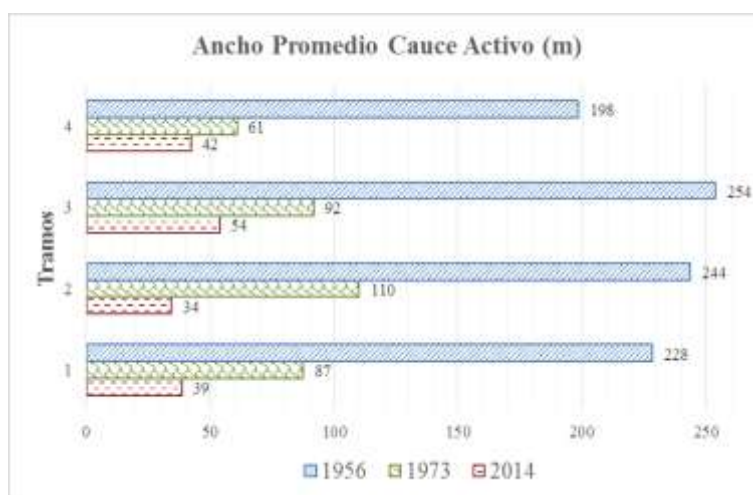


Figura 10. Ancho promedio del cauce activo en los 4 tramos de estudio (m)

Anchura de la vegetación leñosa

Contrario al cauce activo, el ancho promedio de la vegetación leñosa (arbórea arbustiva) en el corredor ripario tiene un aumento significativo entre 1956 y 1973, en 3 de los 4 tramos, excepto en el tramo 1 donde se mantiene relativamente constante durante todo el periodo estudiado. En los tramos 2 y 4 aumenta **3.7 m/año** y **3.9 m/año** respectivamente, y en el tramo 3 aumenta **6.3 m/año**. Luego, entre 1973 y 2014, aunque menor, también hay aumento del ancho promedio, siendo los tramos 2 y 3 los que mayores cambios tienen, con **1.1 m/año** y **0.9 m/año** respectivamente (Figura 11).

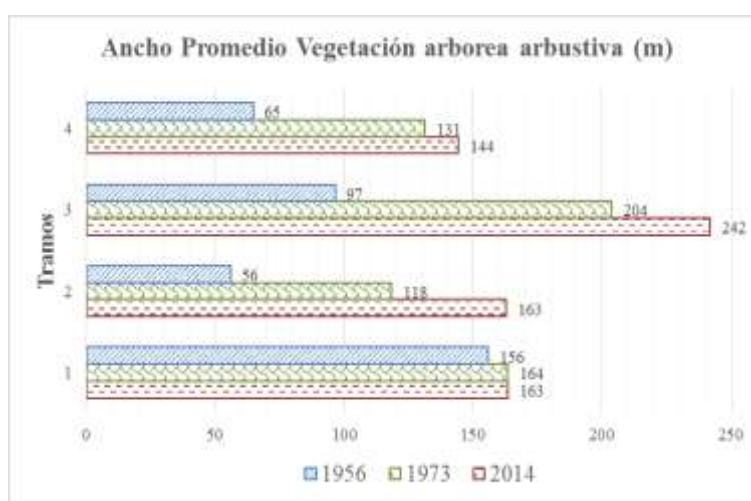


Figura 11. Ancho promedio de la vegetación arbórea arbustiva en los 4 tramos de estudio (m)

La vegetación era escasa en 1956, uno de los primeros años de funcionamiento de las presas, luego a partir de 1973, dos décadas después de la construcción de presas, se observa una importante cobertura de vegetación natural en las islas, barras y orillas de los tramos, enriqueciendo el corredor ripario.

Anchura de las plantaciones de chopos

Otro cambio importante que se evidencia en la evolución histórica de los tramos, es la aparición de grandes plantaciones de chopos (*Populus nigra*), fenómeno antrópico que ocupa una gran área del corredor del Alberche actualmente, restringiéndolo y afectando su estado ecológico, cuando en 1956 era prácticamente inexistente. A 1973 el tramo 2 es el que mayor crecimiento del ancho promedio de plantaciones tiene, **12.5 m/año**. En los otros 3 tramos el mayor crecimiento se presenta entre 1973 y 2014, principalmente el tramo 1 a una tasa de **6.8 m/año** (Figura 12).

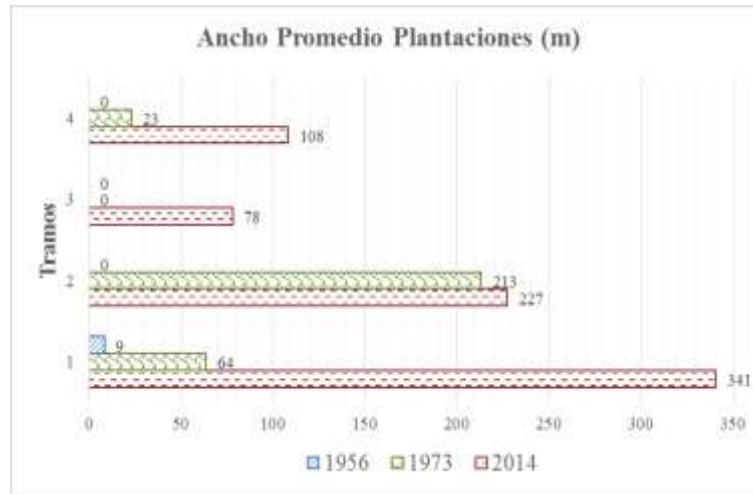


Figura 12. Ancho promedio de plantaciones en los 4 tramos de estudio (m)

También se evidencia una reducción de la cantidad y diversidad de elementos morfológicos (barras de meandro, bandas arenosas). Estas estructuras eran mucho más abundantes y dinámicas cuando la llanura se encontraba menos vegetada y los caudales escasamente regulados, como se observa en los tramos de 1956. La vegetación natural ha realizado un proceso de estabilización de barras e islas entre 1956 y 2014 (Figuras 13 a 16).

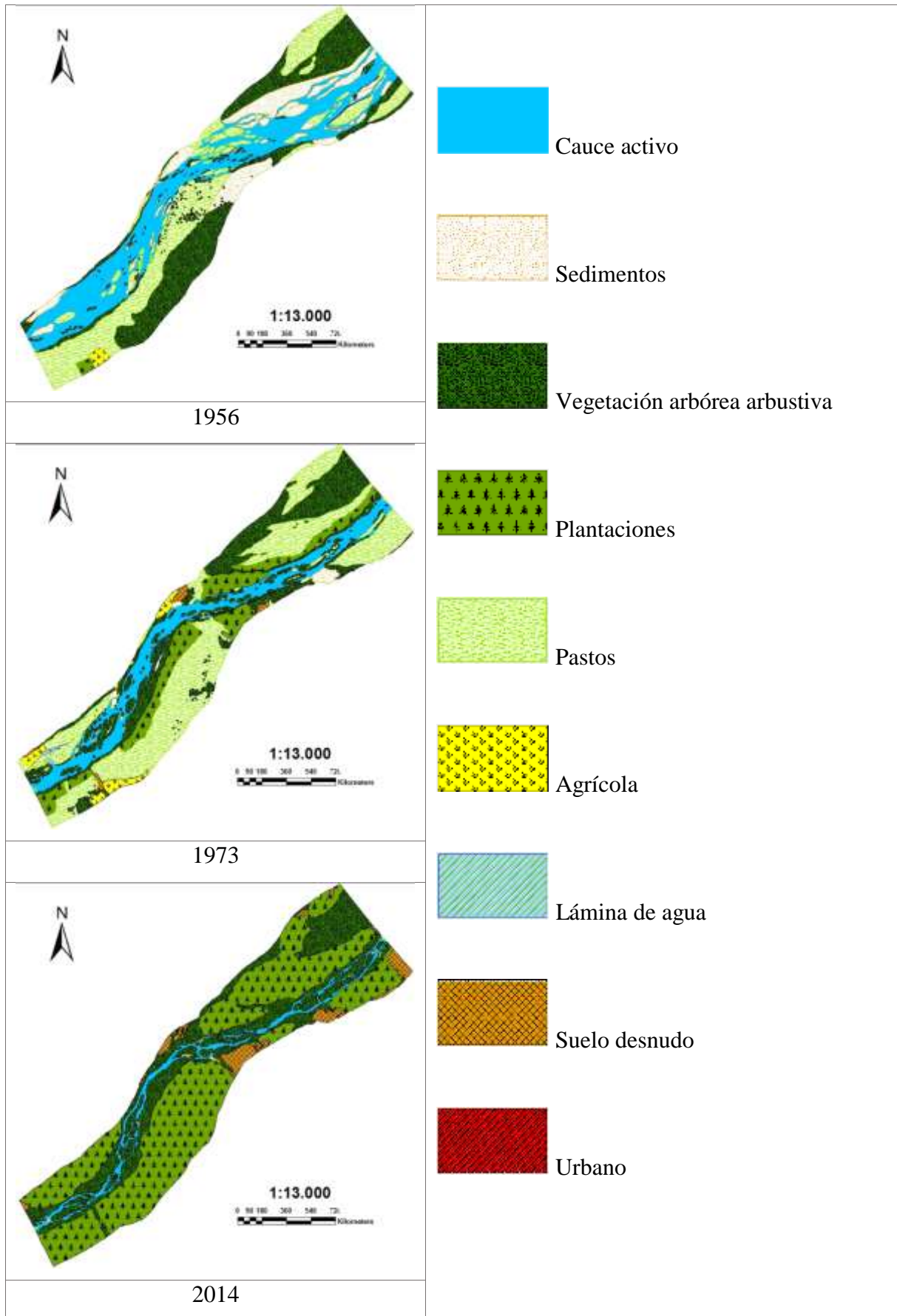


Figura 13. Evolución histórica del tramo 1 desde 1956 hasta 2014.

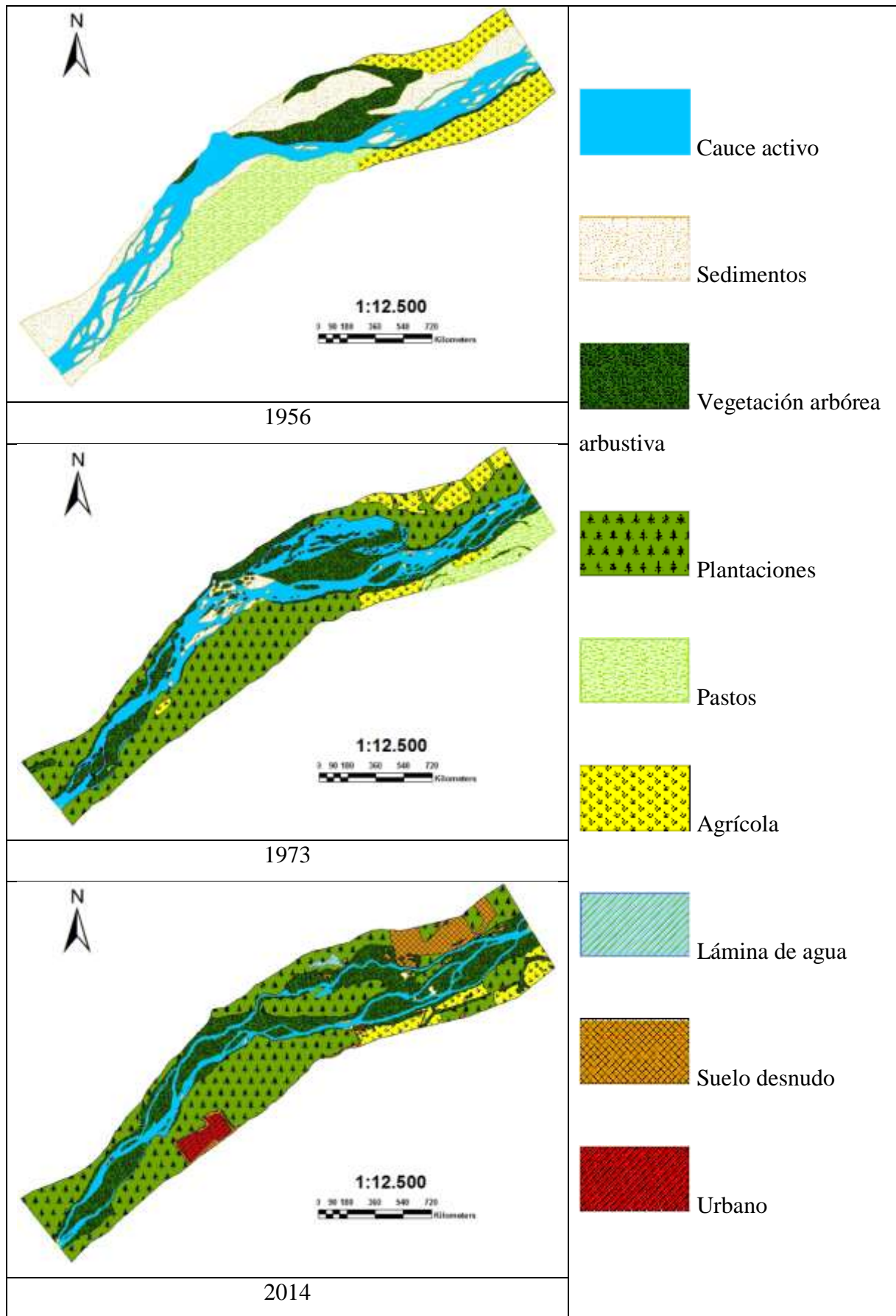


Figura 14. Evolución histórica del tramo 2 desde 1956 hasta 2014.

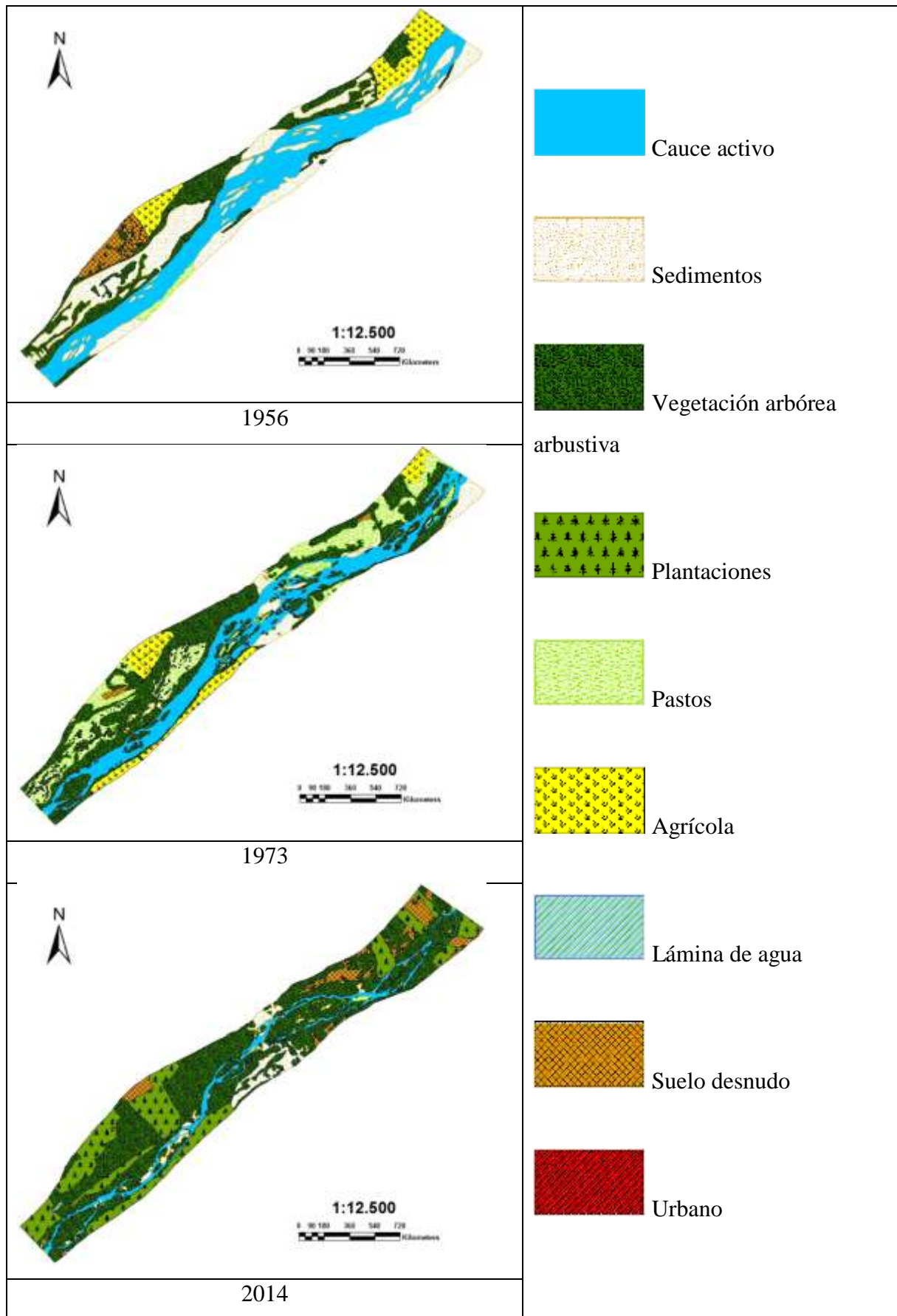


Figura 15. Evolución histórica del tramo 3 desde 1956 hasta 2014.

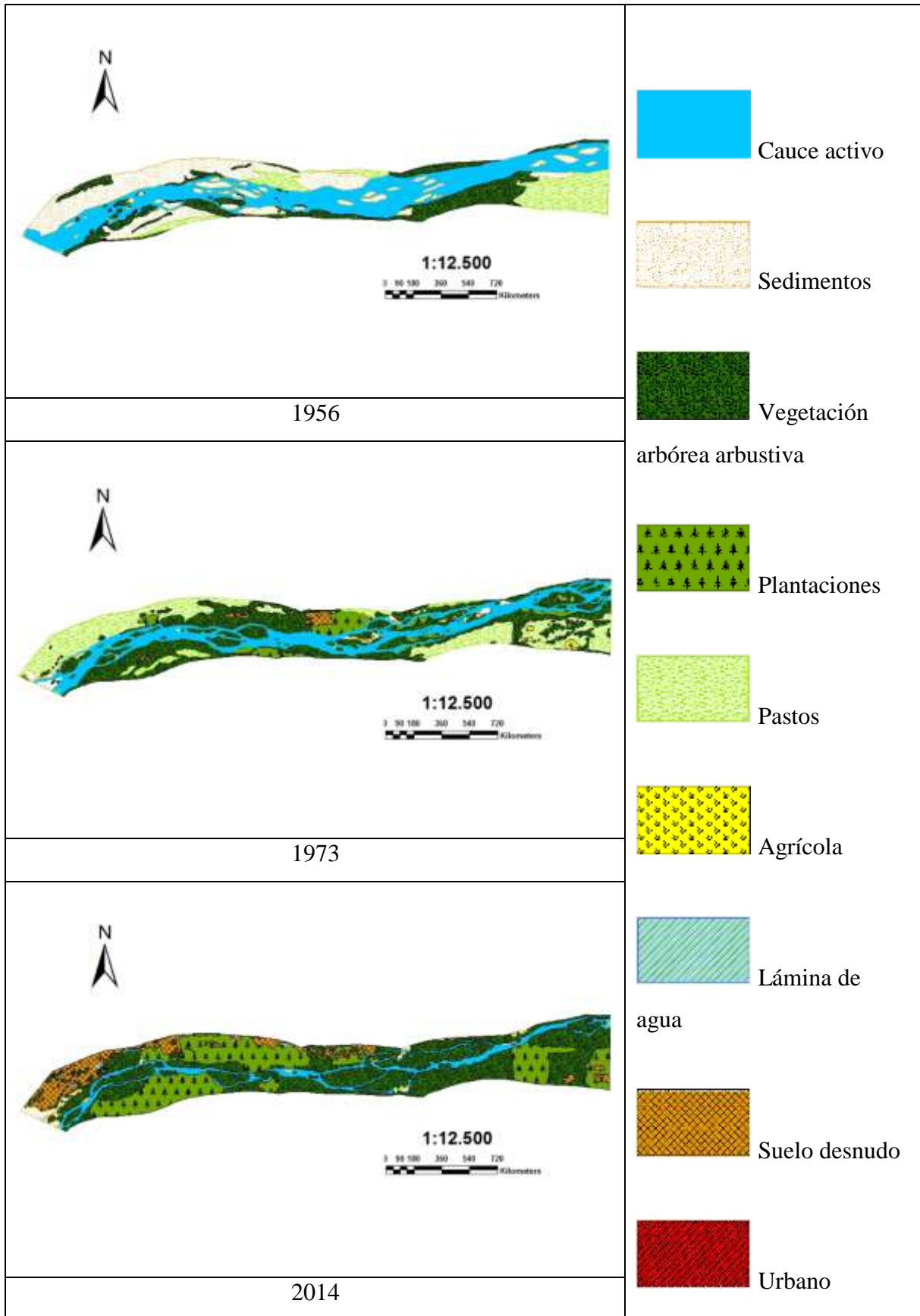


Figura 16. Evolución histórica del tramo 4 desde 1956 hasta 2014.

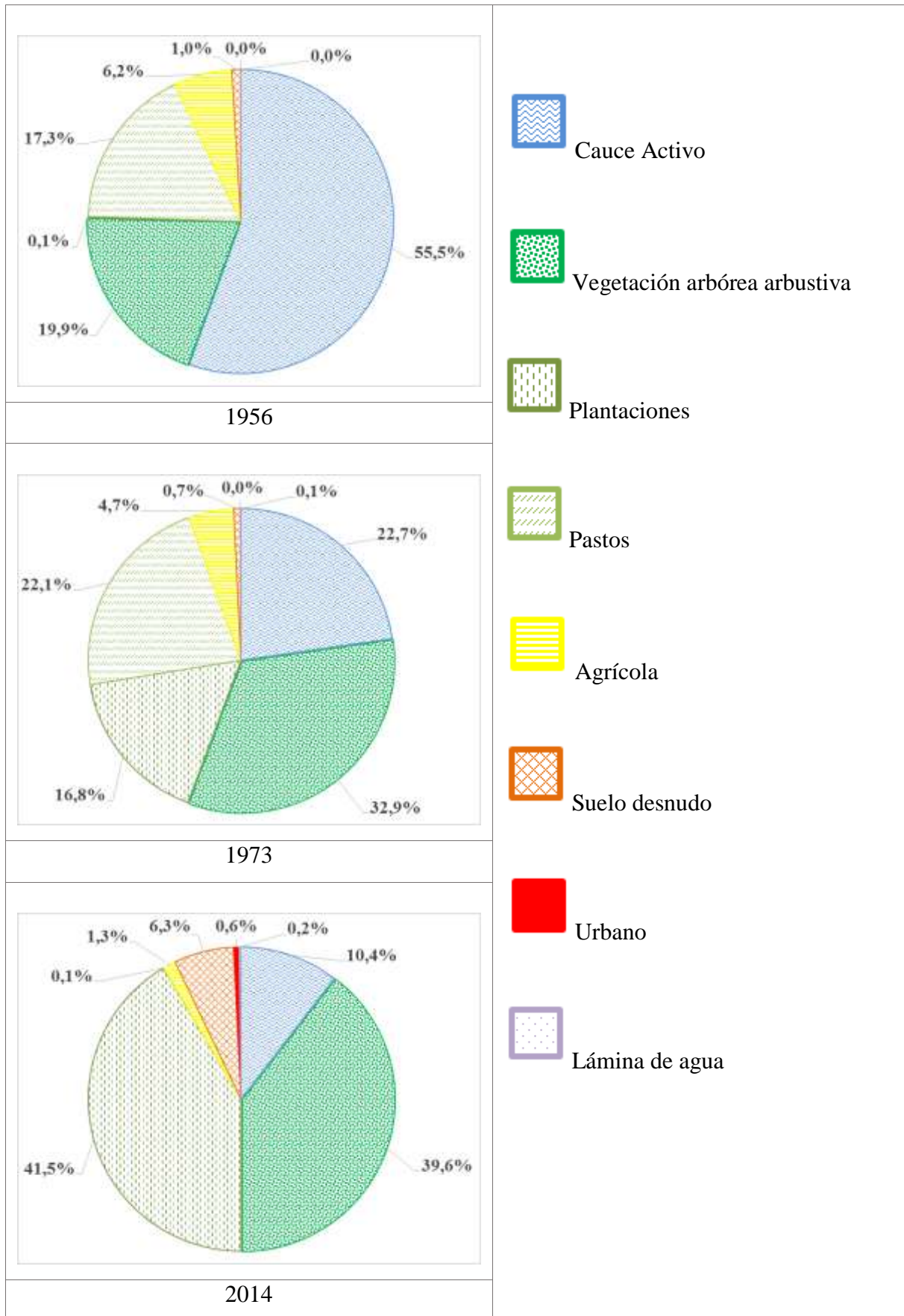


Figura 17. Variación temporal y espacial de coberturas en el corredor ripario del Alberche

En la figura 17 se observa de manera global, la variación temporal y espacial de los distintos tipos de coberturas en el corredor ripario del Alberche. Se observa como el área de cauce activo que en 1956 ocupaba más del 50% de los tramos, va reduciéndose hasta un 10.4% en 2014, paralelo al aumento del 19.7% de la cobertura de la vegetación arbórea arbustiva y al 41.4% de las plantaciones industriales, superando en cobertura a la vegetación natural. La cobertura agrícola, también presenta una considerable reducción dentro del corredor ripario del Alberche, de 6.2% en 1956 a 1.3% en 2014, aunque es la cobertura predominante del sureste de la cuenca vertiente del Alberche, en la margen izquierda del cauce, según las coberturas del suelo Corine Land Cover 2006, Nivel I. Las áreas de pastos, aunque presentan un aumento a 1973, luego desaparecen por completo a 2014.

6.2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del Alberche tiene en su sistema una significativa cantidad de presas, en su curso principal se encuentran: presa El Burguillo, Charco del Cura, San Juan, Picadas y Cazalegas. La mayoría de éstas se concentran en la cuenca media. El segmento de estudio se encuentra entre los embalses Picadas y Cazalegas, lo que lo convierte en un segmento regulado. El embalse Picadas fue construido en 1952, tiene una capacidad de 15 hm³ y su presa una altura de 58.5 m (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/fichas/TAJO/Embalses/3113.pdf>); el embalse Cazalegas fue construido en 1949, tiene una capacidad de 7 hm³ y su presa una altura de 16.64 m (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/fichas/TAJO/Embalses/3115.pdf>).

Los datos para la caracterización hidrológica de los tramos pertenecen a las estaciones Escalona (3183), ubicada a escasos 800 metros aguas arriba del segundo tramo; y Cazalegas (3115), ubicada a la salida de la presa del mismo nombre. Entre ambas se obtienen datos desde 1955 hasta 2013. Los embalses están en funcionamiento desde el año 1949 en el caso de Cazalegas y 1952 en el caso de Picadas, por lo que solo se cuentan con datos correspondientes al periodo post regulación.

Como se mencionó en la metodología, para evaluar los verdaderos efectos de la regulación de flujos es importante caracterizar el régimen de caudales antes y después de presas, sin embargo esto no se pudo hacer en este trabajo debido a la falta de estaciones y datos de aforos confiables y en cantidad suficiente, antes de la construcción de presas, esto implica un sesgo en el análisis

realizado en este trabajo. Sin embargo, se analiza cómo fue variando el régimen de caudales en el tiempo durante el funcionamiento de las presas, prácticamente desde sus inicios hasta la actualidad.

A partir de la síntesis de los datos se observa que hay dos tendencias claramente diferenciadas en el comportamiento de los caudales en el año hidrológico, una es el aumento de los valores máximos entre los meses de octubre a febrero (otoño-invierno); y la otra es la caída de estos valores el resto del año, hasta septiembre, periodo en el que posiblemente se dispone de la mayor parte del recurso para otros usos, principalmente para riego y abastecimiento. Este comportamiento se da en los tres periodos, casi coincidentemente para los mismos meses, sin embargo existe una diferencia significativa entre los valores de caudal, pasando de caudales medios máximos de 51 m³/s en el periodo 1955-1964, a cifras del orden de 28 m³/s en el periodo 1985-2013 (Figura 18)

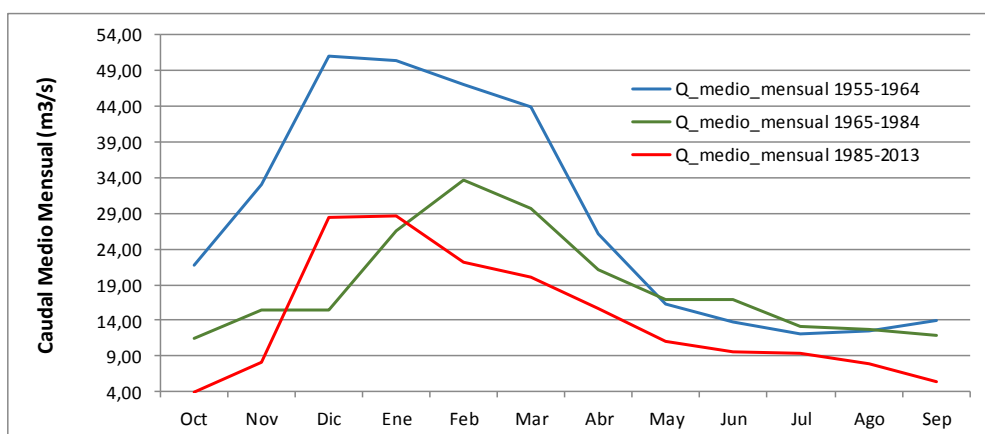


Figura 18. Caudales medios mensuales en el año hidrológico

Durante los primeros años del funcionamiento de la presa Picadas, correspondiente al primer periodo estudiado 1955-1964, los caudales máximos promedio anuales muestran una tendencia a crecer, que en promedio solían ser del orden de 309 m³/s; mientras que para las condiciones de los siguientes dos periodos 1965-1984 y 1985-2013, la tendencia general de los caudales es en descenso, con medias de 135 m³/s y 119 m³/s respectivamente (Figura 19).

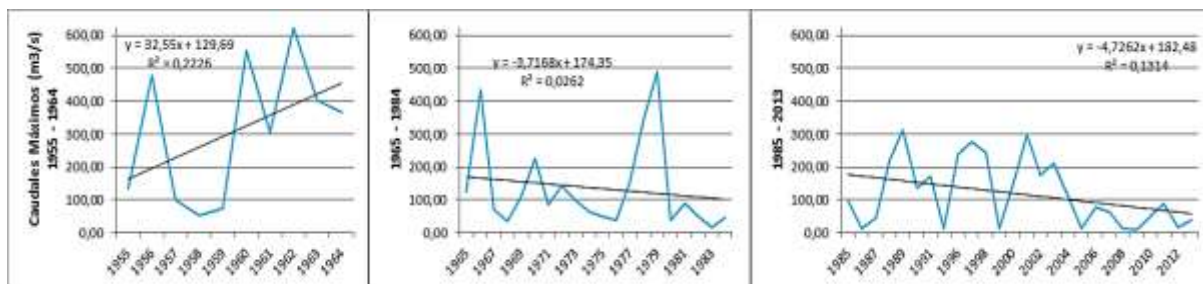


Figura 19. Tendencia de caudales máximos medio-anales

Parte de esta pérdida de agua se debe a los diferentes usos que en el tiempo se le han dado al embalse. Se utiliza para la obtención de energía hidroeléctrica, riego y abastecimiento de agua potable, que se destina a la Comunidad de Madrid, y a través del canal artificial Picadas-Toledo, a la parte septentrional de la provincia de Toledo (Ministerio del Medio Ambiente, 2007).

Los caudales detraídos por las presas suponen una disminución aguas abajo de suficiente magnitud como para condicionar la dinámica fluvial, fundamentalmente durante los periodos de estiaje, laminando los caudales base hasta restringirlos a los caudales denominados ecológicos.

Al igual que ocurre con los caudales máximos anuales, los caudales medios anuales durante el primer periodo estudiado 1955-1964, muestran una tendencia a crecer, en promedio solían ser del orden de 28 m³/s; mientras que para las condiciones de los siguientes dos periodos 1965-1984 y 1985-2013, la tendencia general de los caudales es en descenso, con medias de 18.7 m³/s y 14.3 m³/s respectivamente (Figura 20).

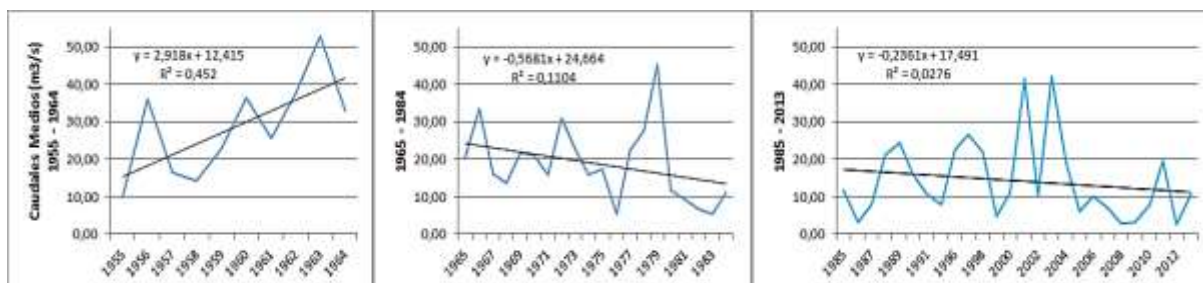


Figura 20. Tendencia de caudales medios anuales

Mientras que los caudales mínimos siempre mostraron una tendencia a decrecer. Tendencia que se marca más en el periodo 1965-1984, con un caudal mínimo promedio anual de 2.4 m3/s (Figura 21).

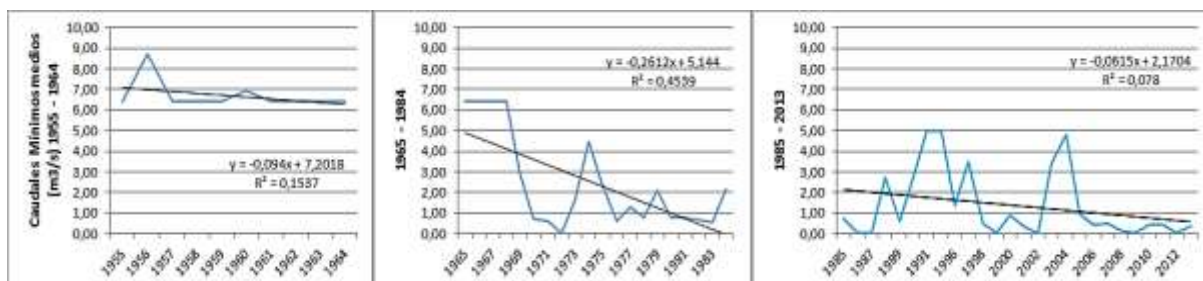


Figura 21. Tendencia de caudales mínimos medio-anales

6.3. INFLUENCIA DE LA REGULACIÓN DE CAUDALES SOBRE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CORREDOR RIPARIO DEL ALBERCHE.

Para determinar cómo han podido influir los cambios en el régimen de caudales sobre la evolución histórica del corredor ripario en la vega del río Alberche, se hace un análisis de regresión entre las variables morfológicas e hidrológicas principales, las cuales se resumen en las tablas 3 a 5.

Tabla 3. Valores promedios de caudales para los tres periodos estudiados

Caudales (m3/año)	1955-1964	1965-1984	1985-2013
máximo	308,7	135,3	118,7
medio	28,5	18,7	14,3
mínimo	6,7	2,4	1,3
P75	31,4	22,2	15,5
mediano	17,3	13,1	7,1
P25	12,4	8,4	4,2
P10	10,9	5,6	2,4
P90	52,0	38,4	36,3
Nº CEROS	0,0	0,2	2,4
Nº CRECIDAS	86,2	81,8	65,5

Tabla 4. Valores promedios de variables morfológicas para los tres momentos estudiados (A)
 (metros)

Años	wca1	wca2	wca3	wca4	wv1	wv2	wv3	wv4	wp1	wp2	wp3	wp4
1956	228,3	243,6	253,6	198,3	155,7	56,0	96,6	64,7	8,5	0,0	0,0	0,0
1973	87,5	110,1	91,8	60,7	163,5	118,3	203,9	131,4	63,7	213,1	0,0	23,2
2014	38,6	34,3	53,9	42,2	163,4	162,8	242,1	144,3	340,5	227,0	78,0	107,9

wca = ancho de cauce activo; wv = ancho de vegetación; wp = ancho de plantaciones.

Tabla 5. Valores promedios de variables morfológicas para los tres momentos estudiados (B)

Años	NºD 1	NºD 2	NºD 3	NºD 4	It1	It2	It3	It4
1956	5,0	0,9	2,2	1,6	3,5	2,3	1,8	2,2
1973	5,3	3,1	1,8	3,8	2,4	2,9	2,6	2,5
2014	1,7	5,3	2,8	3,2	2,4	2,6	2,3	2,2

NºD = número de discontinuidades; It = índice de trenzamiento.

A partir de las regresiones realizadas (Anexo 1), en todos los tramos estudiados se obtiene que, el ancho del cauce activo y de la vegetación están muy bien relacionadas con todas las variables de caudales, en una tendencia tanto lineal como exponencial (Figuras 22 y 23). Mientras que los caudales a través de los tres periodos analizados disminuyen, el ancho del cauce activo también disminuye pero el ancho de la vegetación aumenta, en un patrón constante en los cuatro tramos. Con el número de crecidas y el número de ceros, el ancho del cauce activo y de la vegetación no muestran una relación directa, excepto en el tramo 2, en el que a mayor número de crecidas, mayor es el ancho del cauce activo.

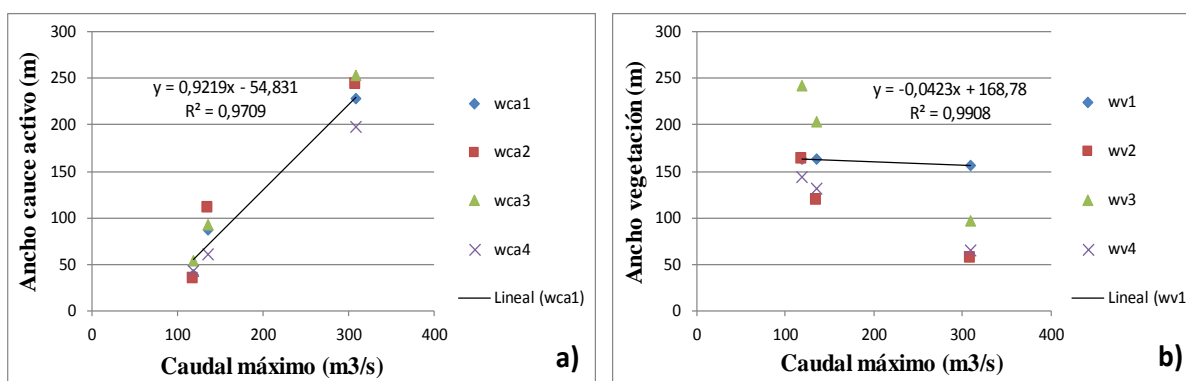


Figura 22. Regresiones lineales y exponenciales entre variables morfológicas e hidrológicas

a) Ancho cauce activo vs. Caudal máximo, en tramo 1; b) Ancho vegetación vs. Caudal máximo, en tramo 1

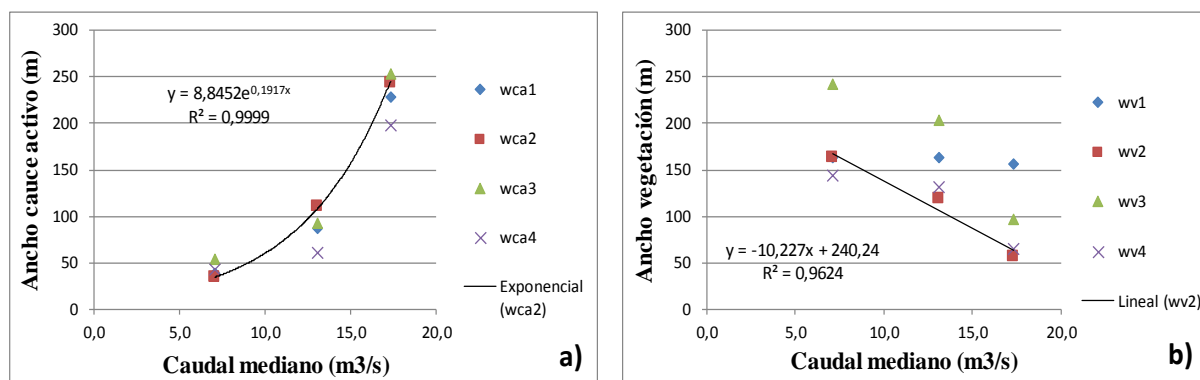


Figura 23. Regresiones lineales y exponenciales entre variables morfológicas e hidrológicas
a) Ancho cauce activo vs. Caudal mediano, en tramo 2; b) Ancho vegetación vs. Caudal mediano, en tramo 2.

El ancho de las plantaciones está bien relacionado con el caudal mediano en todos los tramos, al igual que con el número de crecidas y el número de cerros, excepto en el tramo 2. A menor caudal mediano, a menor número de crecidas y a mayor número de cerros, mayor es el ancho de las plantaciones. Contrariamente, con el resto de caudales (máximos, medios y mínimos), el ancho de las plantaciones solo está bien relacionado en el tramo 2, esto es, a caudales menores, mayor es el ancho de las plantaciones. Esta particularidad en el tramo 2 se explica debido a que, el ancho promedio de las plantaciones tiene el mayor crecimiento durante el primer periodo de 1956 a 1973, contrario al resto de tramos que cambian poco; y coincidentemente con los mayores cambios, en este mismo periodo, de los caudales máximos, medios y mínimos, los cuales disminuyen. A su vez, tanto los caudales medianos, como el número de crecidas y de cerros, cambian poco en el periodo de 1956 a 1973.

Las demás relaciones parecen más al azar. La discontinuidad guarda relación con todas las variables de caudal (máximos, mínimos y medios), y con el número de crecidas y cerros, pero solo en los tramos 1 y 2. Esto es, a mayor caudal y número de cerros de caudal, menor es la discontinuidad de la vegetación riparia, y a mayor número de crecidas, mayor es la discontinuidad. Curiosamente, el índice de trenzamiento no guarda relación con ninguna variable de caudal, en ningún tramo, excepto con el caudal máximo en los tramos 1 y 3, donde, a mayor caudal máximo, mayor es el índice de trenzamiento.

Los efectos aguas abajo de las presas son muy diferentes dependiendo de la ubicación, el medio ambiente, sustrato, el agua y los sedimentos liberados, etc. (Brandt, 2000). En el río Alberche, la mayoría de las presas y embalses se ubican en la zona de la sierra, caracterizada por una sedimentología de cantos rodados. En la llanura, a partir de la última presa Picadas, la sedimentología está compuesta principalmente por arenas, aportadas por los afluentes que se encuentran a lo largo de toda la vega del Alberche, principalmente por el río Perales (Díez Herrero, 2001). Por tanto, el que no lleguen los cantos rodados retenidos en la presa Picadas al segmento de estudio, no constituye un problema.

En general, en todo el corredor ripario de la vega del río Alberche, es evidente el estrechamiento del cauce activo como resultado de la regulación que favorece una continuidad de los caudales medios más homogénea, y esto a su vez, favorece el crecimiento continuo de la vegetación natural (arbórea arbustiva) en aquellas zonas antes ocupadas por el cauce, y que ya no se encuentran frecuentemente inundadas. La fase arbórea arbustiva dentro de la superficie total analizada, sufrió un incremento del 19.7% durante los escenarios de regulación, mayormente en el periodo 1956 a 1973, luego este incremento se sigue produciendo, aunque más suavizado, a medida que el periodo de regulación es más prolongado en el tiempo.

La vegetación que aparece en las riberas de ríos y arroyos desempeña una función esencial de protección de las márgenes de los cauces. También desempeña un papel ecológico importante, dado que constituye un adecuado hábitat para la fauna silvestre, y se ha constatado que el mantenimiento de franjas de vegetación en los bordes de los ríos y arroyos facilita su funcionalidad como corredor ecológico, y permite fomentar la interconexión con diferentes ecosistemas (García Quiroja, 2014).

Por otro lado, las plantaciones de chopos (*Populus nigra*) en las llanuras de inundación pueden interpretarse como una de las causas que haya contribuido directamente al estrechamiento del cauce, pero también como una intervención humana en respuesta al deterioro hidrológico. En este último caso, se podría plantear la idea de que si las plantaciones no existieran, otra vegetación nativa habría crecido en su lugar, sobre todo considerando la extinción de otras actividades que antiguamente ejercían presión en el corredor ripario, como las áreas de pastos dedicadas posiblemente a ganadería, que al 2014 desaparecieron totalmente (Figura 17). Los efectos de superposición de otras perturbaciones humanas comunes (por ejemplo, el pastoreo,

agricultura, canalizaciones) afectan directa o indirectamente a la vegetación de ribera (Corbacho et al. 2003, en Bejarano et al, 2012), oscureciendo las consecuencias específicas de las alteraciones de flujos. Estos factores hacen que sea difícil profundizar la comprensión de la alteración hidrológica y las respuestas de la vegetación en las regiones mediterráneas (Bejarano et al, 2012).

7. CONCLUSIONES

En general, en todo el corredor ripario de la vega del río Alberche, es evidente el estrechamiento del cauce activo a una tasa de reducción muy grande durante las primeras 2 décadas del funcionamiento de la represa Picadas, que va desde 7.9 m/año en el tramo 2, hasta 9.5 m/año en el tramo 3. Luego, la tasa de cambio se va ralentizando hasta llegar a un máximo de 1.8 m/año en el tramo 2.

El proceso de estrechamiento del cauce activo, ocurre de forma paralela al crecimiento continuo de la vegetación leñosa, en aquellas zonas antes ocupadas por el cauce, y que ya no se encuentran frecuentemente inundadas. La vegetación crece a una tasa que va desde los 3.7 m/año en el tramo 2, hasta los 6.3 m/año en el tramo 3, igualmente, durante las primeras 2 décadas del funcionamiento de la represa, para luego ralentizarse a un máximo de 1.1 m/año.

Adicionalmente, en el segundo periodo estudiado, entre 1973 y 2014, se realizan grandes plantaciones de choperas en el corredor ripario del Alberche, a tasas de crecimiento que alcanzan hasta los 6.8 m/año, lo cual contribuye más al estrechamiento del cauce.

Respecto a la hidrología, se determinó que: (1) Mientras los caudales a través de los tres periodos analizados disminuyen, el ancho del cauce activo también disminuye y el ancho de la vegetación aumenta, en un patrón constante en los cuatro tramos; y (2) A menor caudal (de máximos, medios, medianos y mínimos), a menor número de crecidas y a mayor número de ceros, mayor es el ancho de las plantaciones, pero solo en tres de los cuatro tramos analizados.

Lo anterior, lleva a la conclusión de que los cambios observados en el corredor fluvial de la vega del río Alberche, principalmente el estrechamiento del cauce y la invasión de la vegetación, son consecuencias de la regulación de caudales al que está sometido el segmento de estudio desde 1952. Sin embargo, es importante seguir el estudio en el río Alberche, en relación al grado de afectación que puedan ejercer otros componentes del sistema sobre la vegetación riparia, como los cambios de uso del suelo en la cuenca vertiente.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Bejarano M. Dolores, Marchamalo Miguel, García de Jalón Diego, González del Tánago Marta. 2010. Flow regime patterns and their controlling factors in the Ebro basin (Spain). *Journal of Hydrology* 385, p 323–335.
- Bejarano M. Dolores, Nilsson Christer, Gonzalez del Tánago Marta, Marchamalo Miguel. 2011. Responses of riparian trees and shrubs to flow regulation along a boreal stream in northern Sweden. *Freshwater Biology* 56, p 853 – 866.
- Bejarano M. Dolores, González del Tánago Marta, García de Jalón Diego, Marchamalo Miguel, Sordo-Ward Álvaro, Solana-Gutiérrez Joaquín. 2012. Responses of riparian guilds to flow alterations in a Mediterranean stream. *Journal of Vegetation Science* 23, p 443 – 458.
- Brandt S. Anders. 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena* 40, p 375 – 401.
- Conrad Jon M, Gomes Carla P, Van Hove Willem-Jan, Sabharwal Ashish, Suter Jordan F. 2012. Wildlife corridors as a connected subgraph problem, *Journal of Environmental Economics and Management*. Issue 1, January, Vol. 63, p 1-18.
- Díez Herrero Andres. 2001. Geomorfología e Hidrología Fluvial del río Alberche. Modelos y S.I.G. para la gestión de riberas. Tesis Doctoral. Madrid: Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 610 p.
- EC (European Commission), 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of October the 23rd establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327/1.
- Egozi R, Ashmore P. 2008. Defining and measuring braiding intensity. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, p 2121–2138.
- García Arias Alicia, Francés García Félix. 2011. Efectos de la regulación de caudales sobre la vegetación riparia en un entorno semiárido. I Congreso Ibérico de restauración fluvial Restauraríos. León, 18-20 de octubre 2011.
- Garcia de Jalon, Diego. 2003. The Spanish experience in determining minimum flow regimes in regulated streams. *Can, Water Resour J.* 28, p 1 - 14.
- García Quiroja Fernando, Abad Soria Jesús. 2014. Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: Propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia). *Observatorio Medioambiental*, Vol. 17, p 253-298.
- Gómez-Elvira González J. 2015. Plan de Gestión Sotos del Alberche ES4250014 (Toledo). Dirección General de Montes y Espacios Naturales. Consejería de agricultura. Junta de

comunidades de Castilla-La Mancha. 34 p. (Obtenido de: <http://www.castillalamancha.es/gobierno/agrimedambydesrur/estructura/dgapfyen/rednatura2000/zecES4250014>).

- González del Tánago M., García de Jalón D., Román M. 2012. River restoration in Spain: theoretical and practical approach in the context of the European water framework directive. *Environment Management* 50, p 123 - 139.

- González del Tánago Marta., Bejarano M. Dolores, García de Jalón Diego, Schmidt J.C. 2015. Biogeomorphic responses to flow regulation and fine sediment supply in Mediterranean streams (the Guadalete River, southern Spain). *Journal of Hydrology* 528, p 751–762.

- González del Tánago Marta, Martínez Fernández V, García de Jalón Diego. 2016. Diagnosing problems produced by flow regulation and other disturbances in Southern European Rivers: the Porma and Curueño Rivers (Duero Basin, NW Spain). *Aquatic Sciences*, Vol. 78, Number 1, p 121-133.

- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano S.M., López-Moreno J.I., Morán-Tejeda E., Abalza J. 2012. Recent trends in Iberian streamflows (1945–2005). *Journal Hydrology* 414–415, p 463-475.

- Ministerio de Medio Ambiente. 2007. Programa Agua: Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la cuenca hidrográfica del tajo. Documento de operatividad, 224 p (Obtenido de: http://www.chtajo.es/DemarcaTajo/SequiasyAvenidas/Documents/DOC_Operatividad.pdf).

- Ministerio de Medio Ambiente. 2007. Programa Agua: Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la cuenca hidrográfica del tajo. Anejo VI Modelización, 119 p (Obtenido de: <http://www.chtajo.es/DemarcaTajo/SequiasyAvenidas/Documents/Anejo%20VI.pdf>).

- Nilsson C, Reidy CA, Dynesius M, Revenga C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308, p 405 – 408.

- Ollero Ojeda A. 2009. Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica. Confederación Hidrológica del Ebro, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España.

- Palmer MA, Reidy Liermann CA, Nilsson C, Flörke M, Alcamo J, Lake PS, Bond N. 2008. Climate change and the world's river basins: anticipating management options. *Front Ecology Environmental* 6, p 81–89.

- Rivas-Martínez S. 1982. Mapa de las Series de Vegetación de Madrid (y Memoria). Escala 1:200.000. Servicio Forestal del Medio Ambiente y Contra Incendios, Diputación de Madrid. (Obtenido de: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx).
- Tealdi, S, Camporeale C, Ridolfi L. 2011. Modelling the impact of river damming on riparian vegetation. *Journal of Hydrology* 396, p 302–312.

Recursos web:

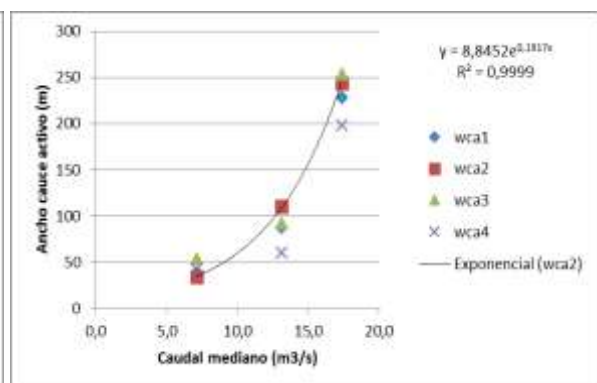
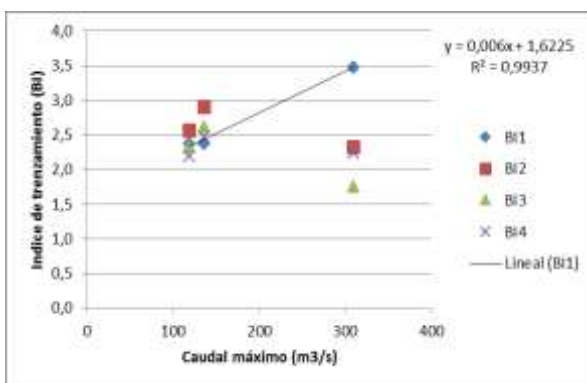
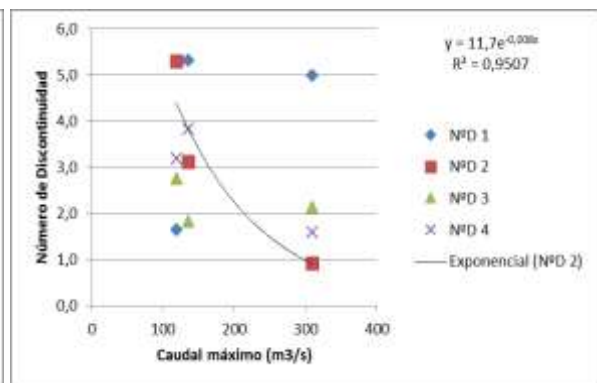
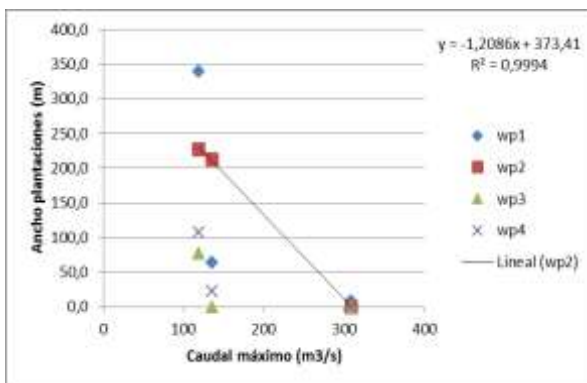
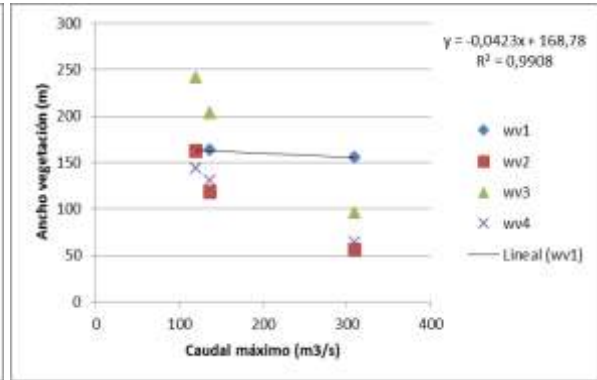
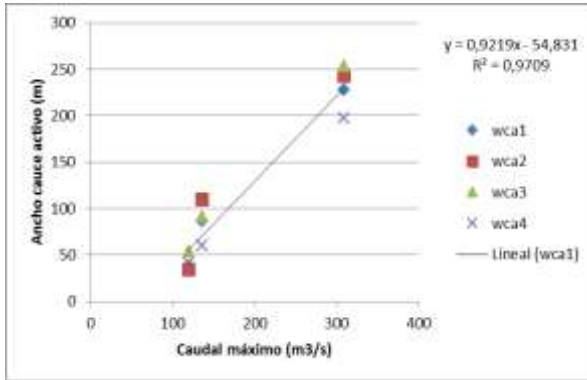
- www.globalbioclimatics.org
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/>
- <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/Paisajes.aspx>
- <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>
- <https://fototeca.cnig.es/>
- <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>
- <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/fichas/TAJO/Embalses/3113.pdf>
- <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/fichas/TAJO/Embalses/3115.pdf>

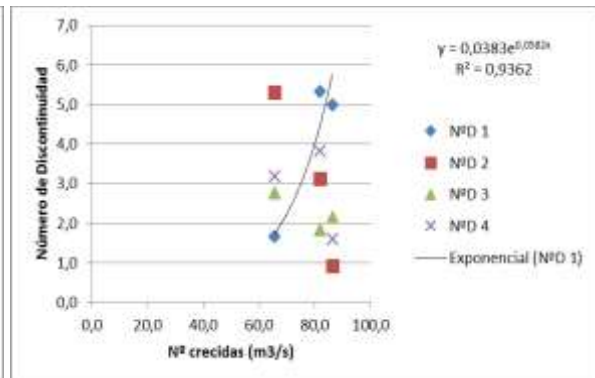
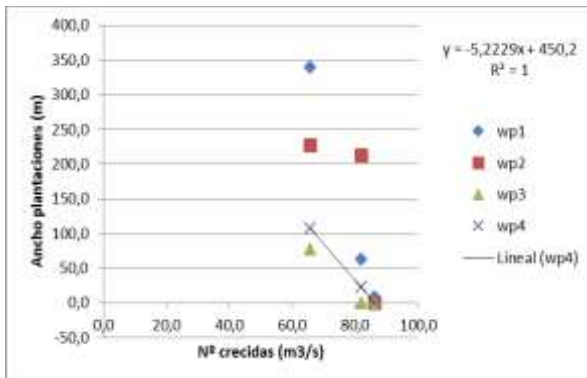
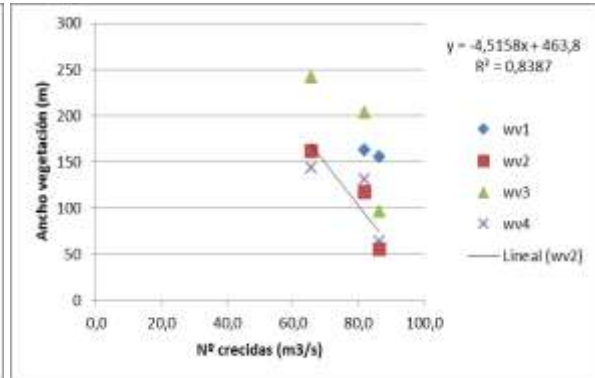
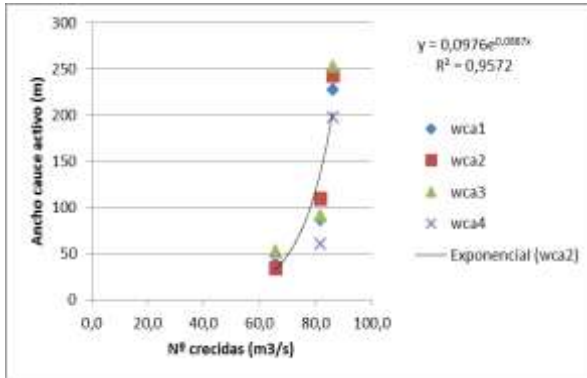
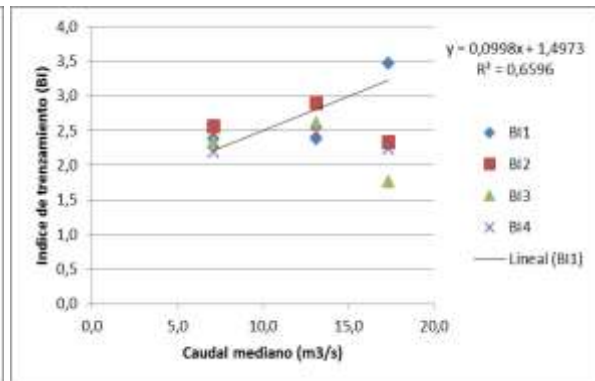
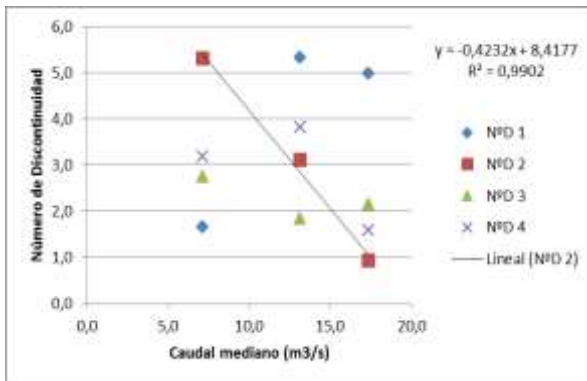
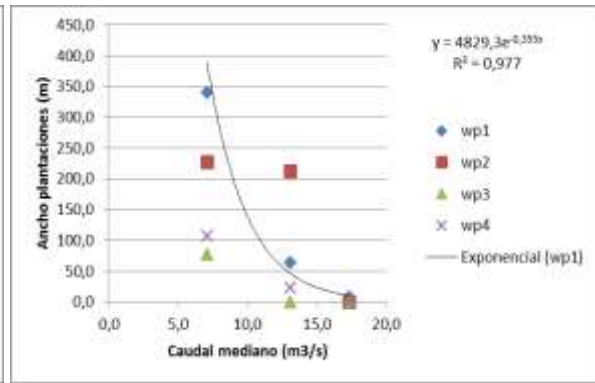
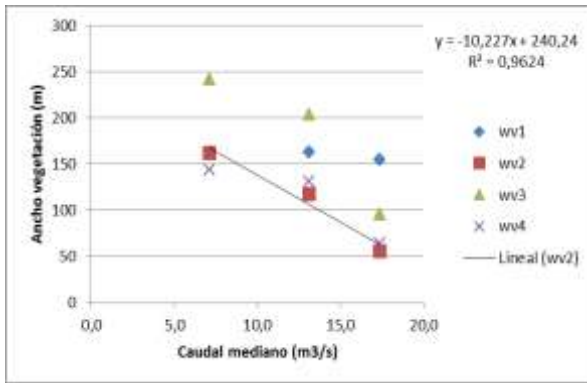
AGRADECIMIENTOS

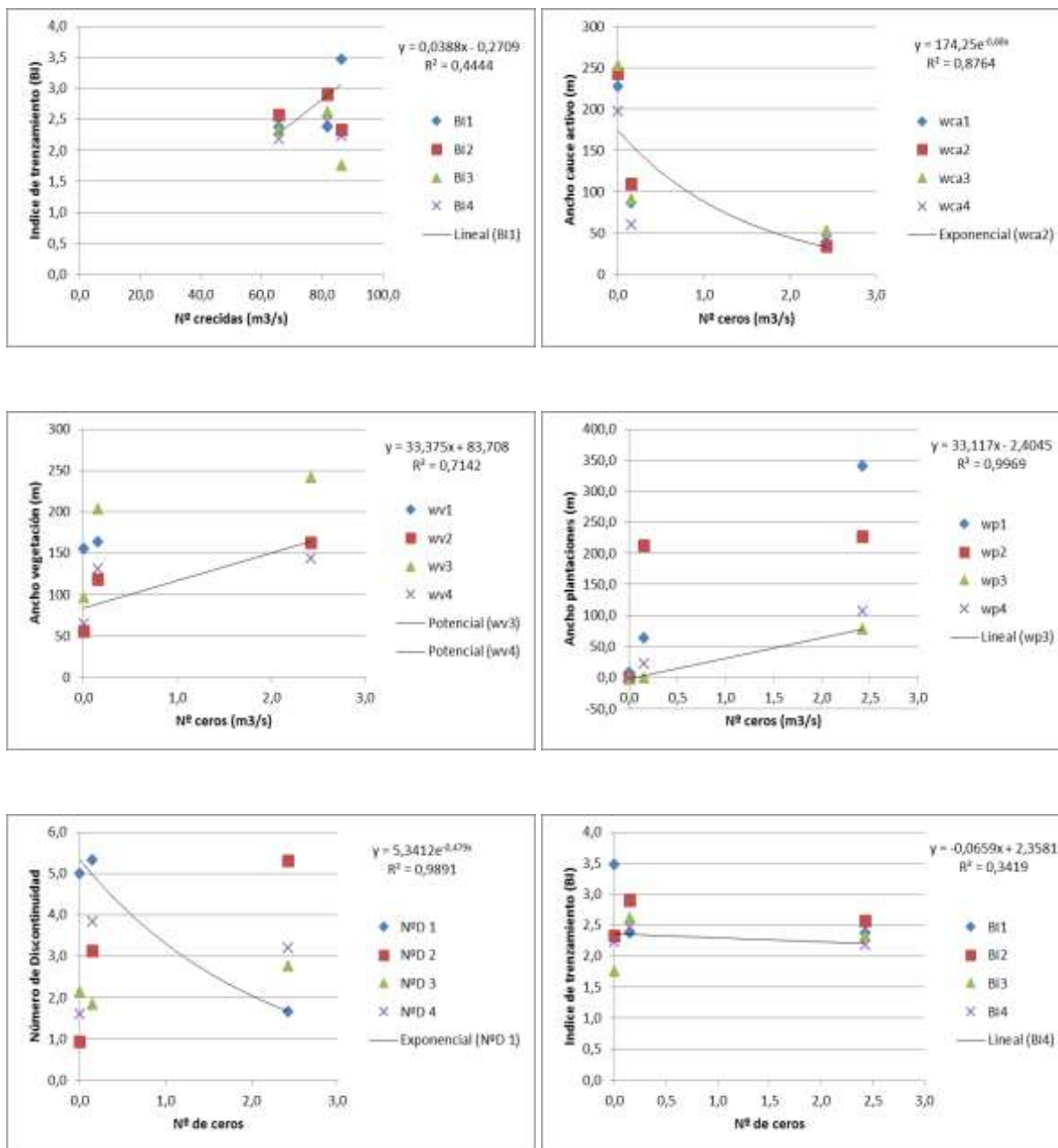
En primer lugar, quiero agradecer a Diego García de Jalón por ejercer un excelente papel como director de este trabajo de fin de máster, por su disposición y apoyo. Agradezco profundamente al Programa de Formación de alto nivel, maestrías y doctorados, para la transformación social y productiva de la Guajira, PFAN, en Colombia, por brindarme la maravillosa oportunidad de cursar esta maestría. De igual manera, a los profesores del Master de Restauración de Ecosistemas, por todas sus enseñanzas. Mil gracias a Navila Monteagudo, Peter Olaya y Johana Velázquez por ser mis compañeros en este proceso; a Fernando Prieto por su apoyo incondicional; a Elona Bakalli y a Ileana Díaz (eres la mejor!!), y a los demás compañeros del máster por hacer del mismo una experiencia maravillosa. Y por último, pero siendo lo más importante, a mi familia y a Dios, porque son lo más grande en mi vida, mi apoyo y mi luz.

ANEXOS

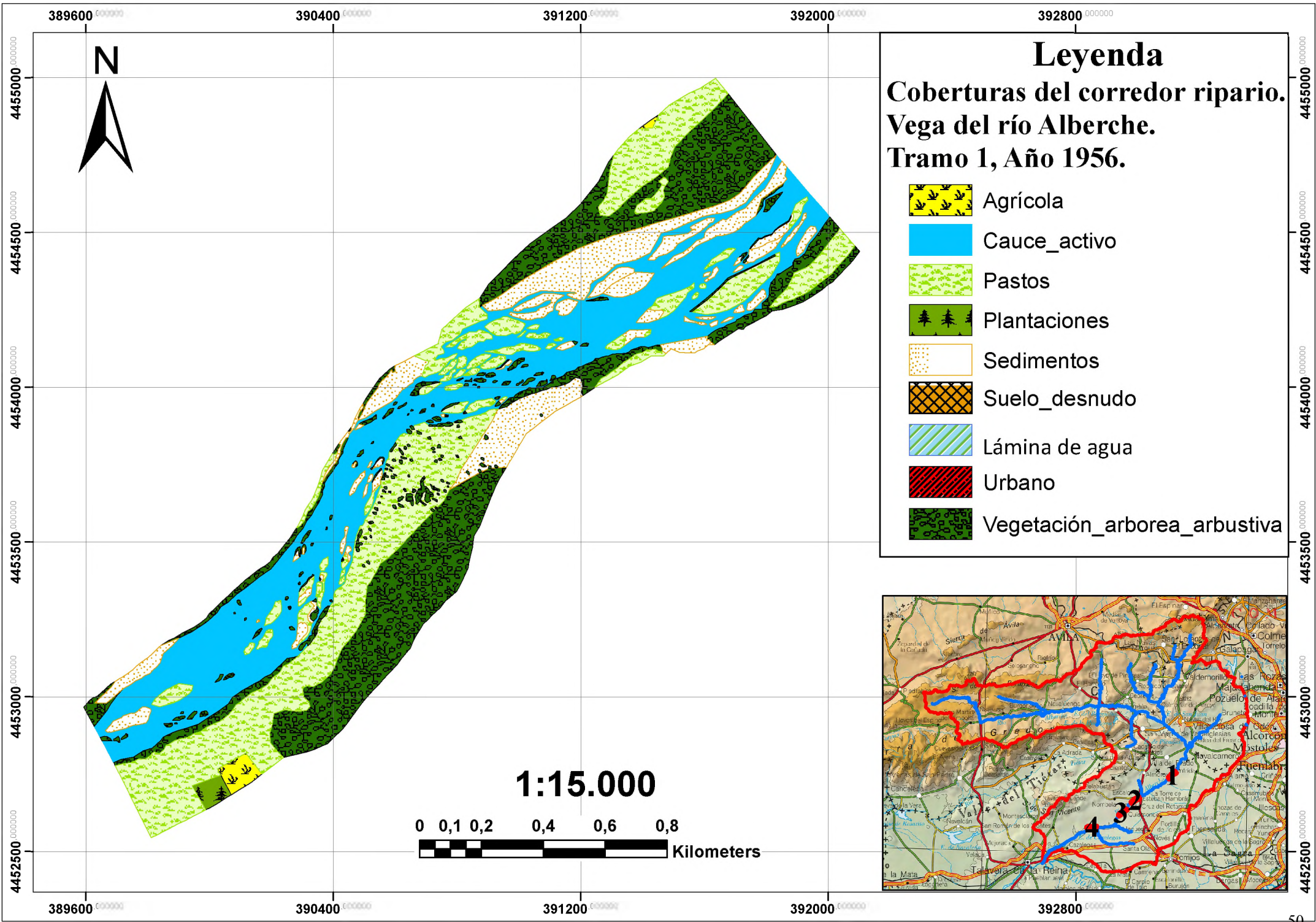
ANEXO 1. REGRESIONES LINEALES Y EXPONENCIALES ENTRE VARIABLES MORFOLÓGICAS E HIDROLÓGICAS, EN DIFERENTES TRAMOS







ANEXO 2. MAPAS DE COBERTURAS DEL CORREDOR RIPARIO DEL RÍO ALBERCHE EN LOS 4 TRAMOS DE ESTUDIO, EN TRES MOMENTOS DIFERENTES: 1956, 1973 Y 2014.

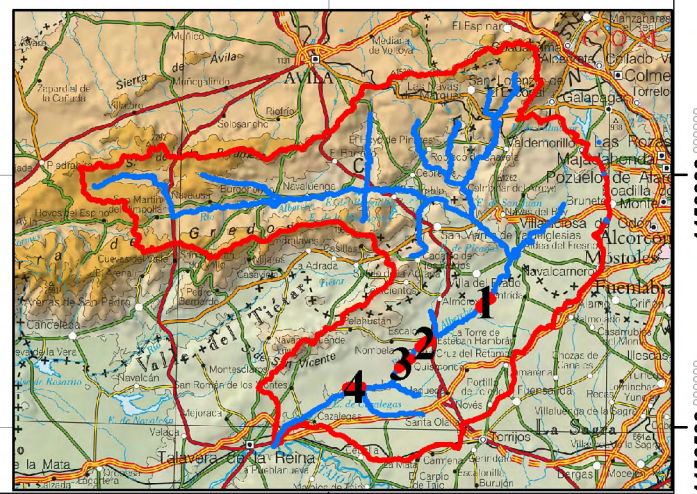
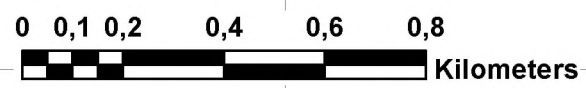


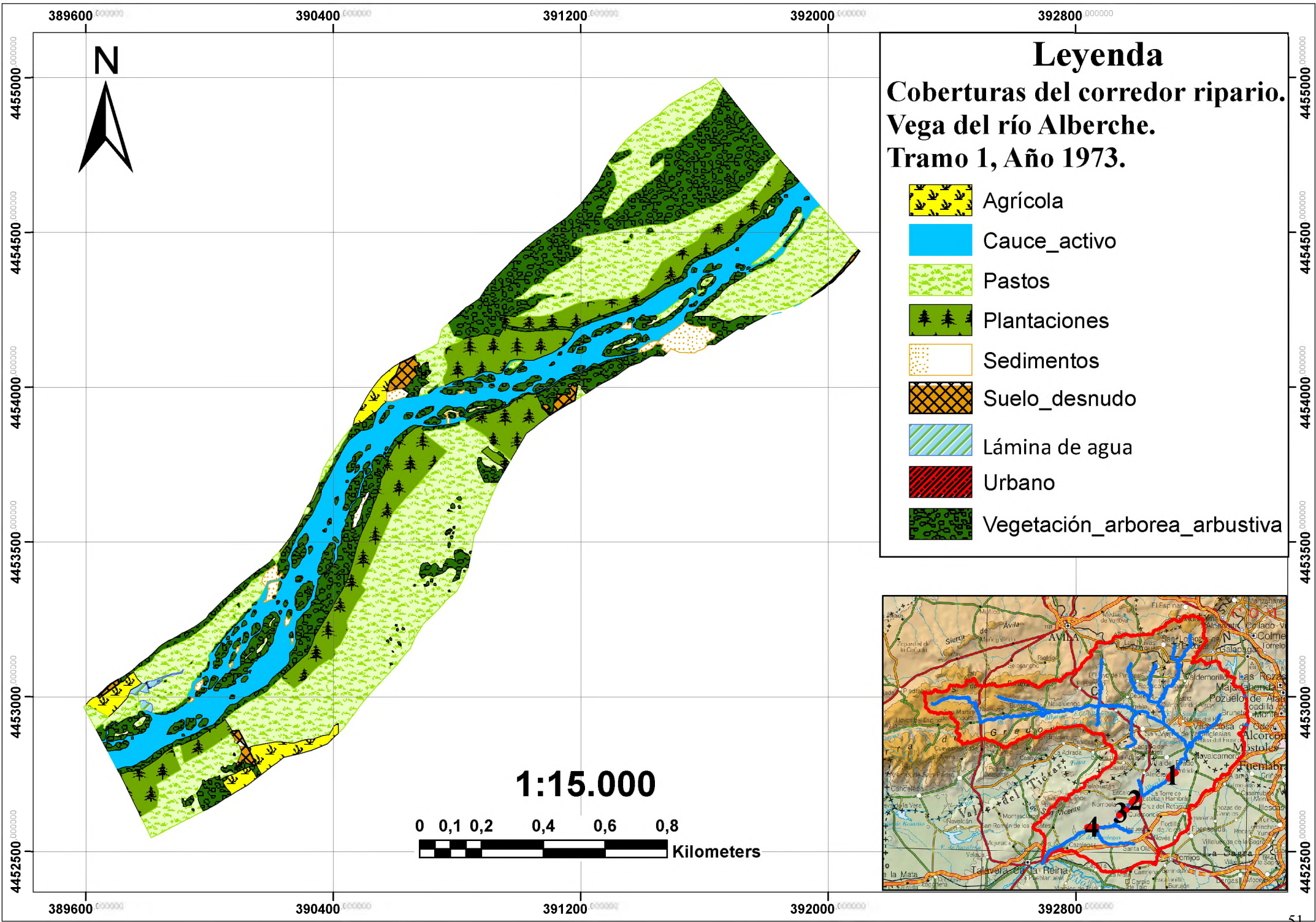
Leyenda

**Coberturas del corredor ripario.
Vega del río Alberche.
Tramo 1, Año 1956.**

-  Agrícola
-  Cauce_activo
-  Pastos
-  Plantaciones
-  Sedimentos
-  Suelo_desnudo
-  Lámina de agua
-  Urbano
-  Vegetación_arborea_arbustiva

1:15.000



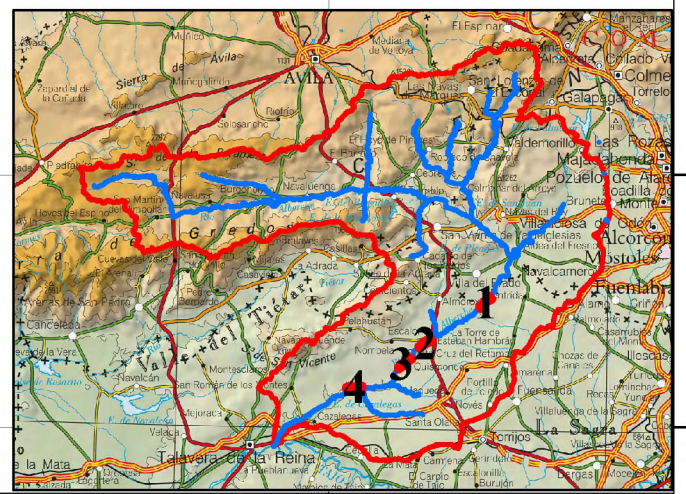
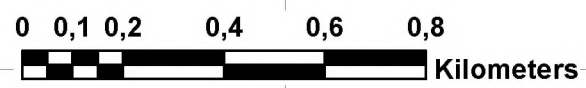


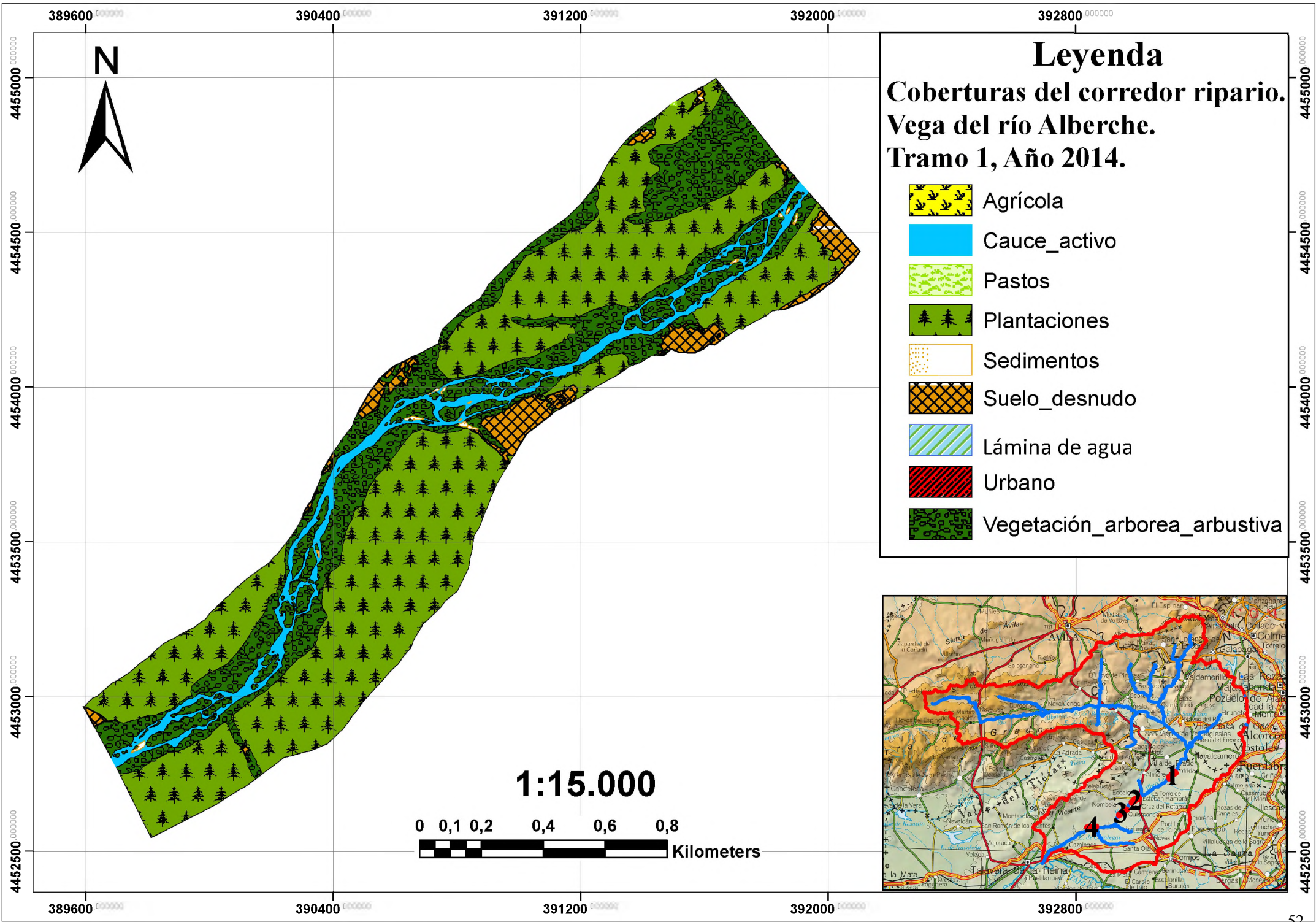
Leyenda

**Coberturas del corredor ripario.
Vega del río Alberche.
Tramo 1, Año 1973.**

-  Agrícola
-  Cauce_activo
-  Pastos
-  Plantaciones
-  Sedimentos
-  Suelo_desnudo
-  Lámina de agua
-  Urbano
-  Vegetación_arborea_arbustiva

1:15.000



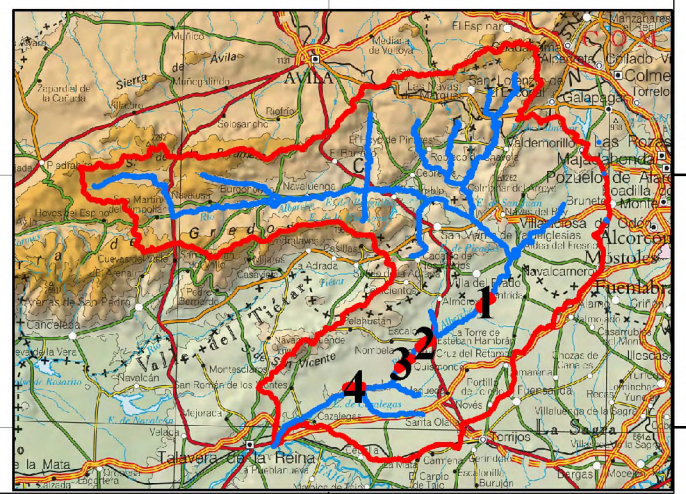
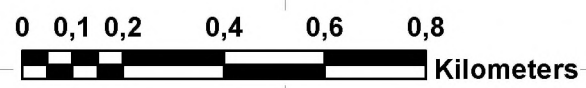


Leyenda

**Coberturas del corredor ripario.
Vega del río Alberche.
Tramo 1, Año 2014.**

-  Agrícola
-  Cauce_activo
-  Pastos
-  Plantaciones
-  Sedimentos
-  Suelo_desnudo
-  Lámina de agua
-  Urbano
-  Vegetación_arborea_arbustiva

1:15.000



377600 378400 379200 380000

Leyenda

Coberturas del corredor ripario. Vega del río Alberche. Tramo 2, Año 1956.



Agrícola



Cauce_activo



Pastos



Plantaciones



Sedimentos



Suelo_desnudo



Lámina de agua



Urbano



Vegetación_arborea_arbustiva



4447000

4446500

4446000

4445500

4445000

4447000

4446500

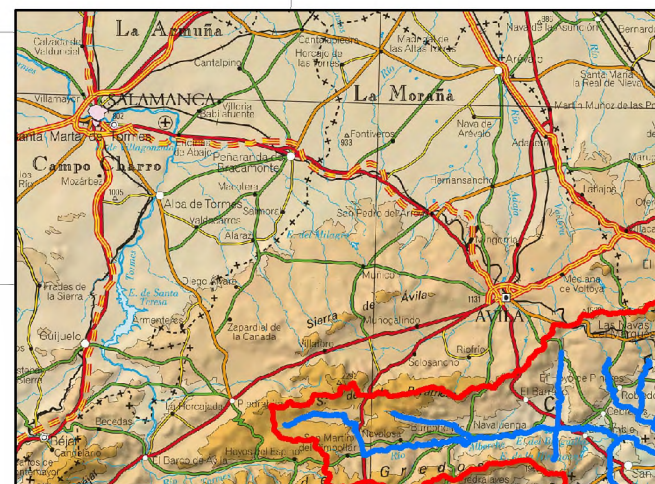
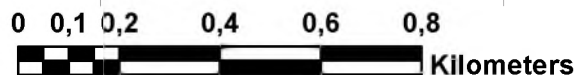
4446000

4445500

4445000

377600 378400 379200 380000

1:15.000



377600 378400 379200 380000

Leyenda

Coberturas del corredor ripario. Vega del río Alberche. Tramo 2, Año 1973.



4447000

4446500

4446000

4445500

4445000










4447000

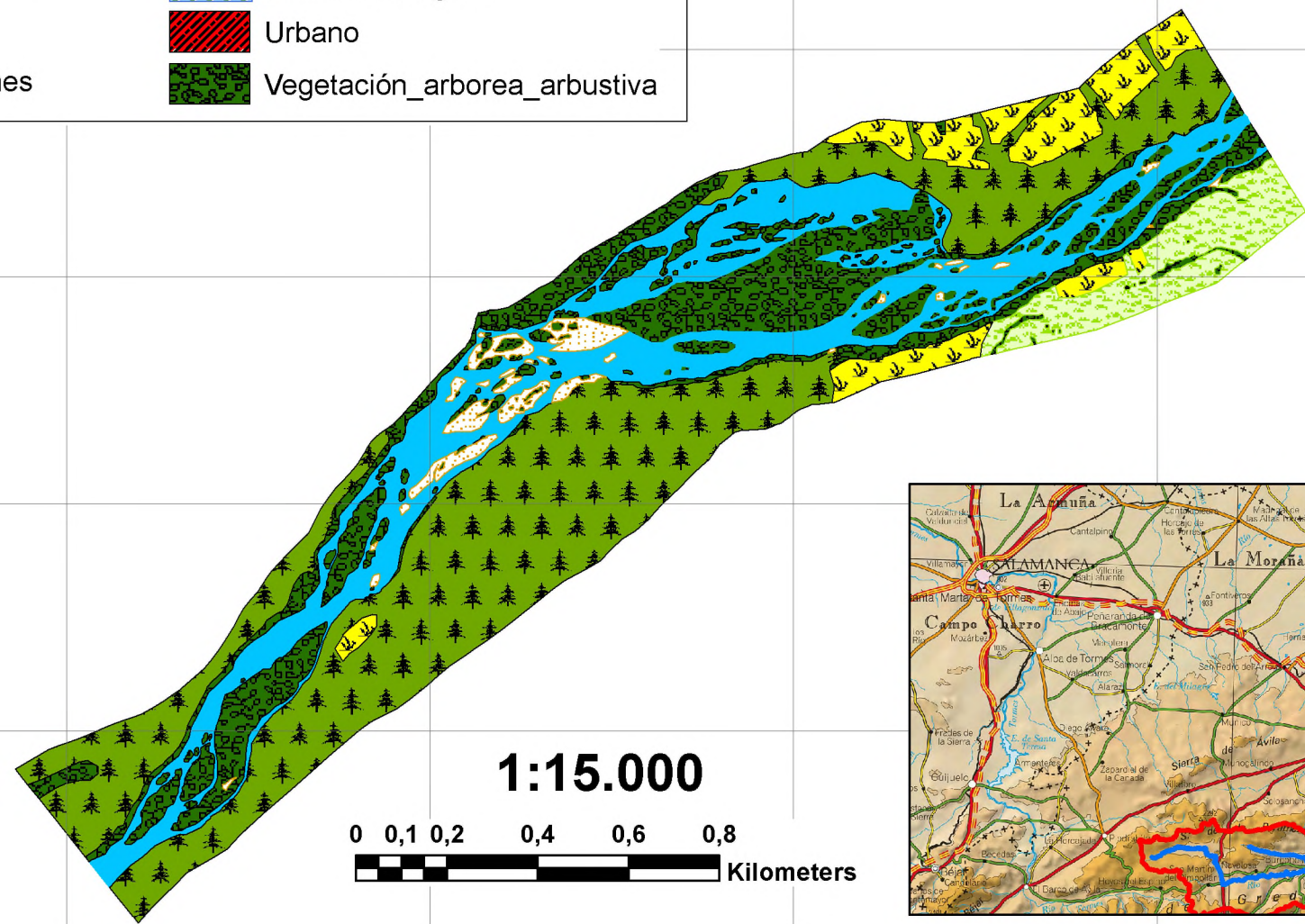
4446500

4446000

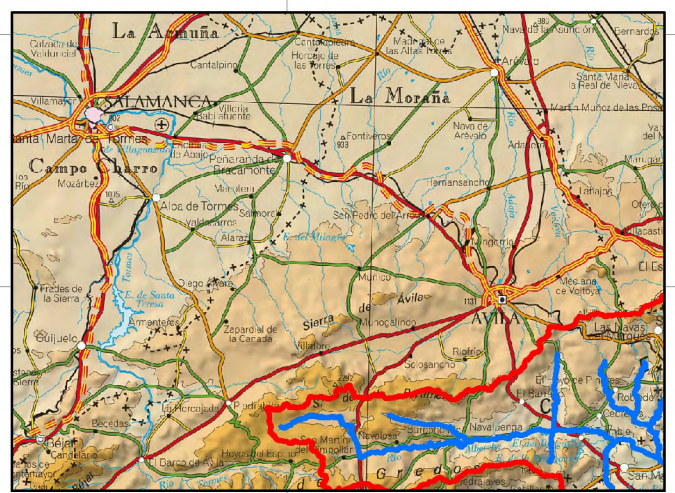
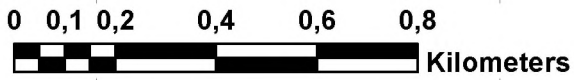
4445500

4445000

- | | | | |
|---|--------------|---|------------------------------|
|  | Agrícola |  | Sedimentos |
|  | Cauce_activo |  | Suelo_desnudo |
|  | Pastos |  | Lámina de agua |
|  | Plantaciones |  | Urbano |
| | |  | Vegetación_arborea_arbustiva |



1:15.000



377600 378400 379200 380000

377600 378400 379200 380000










Leyenda

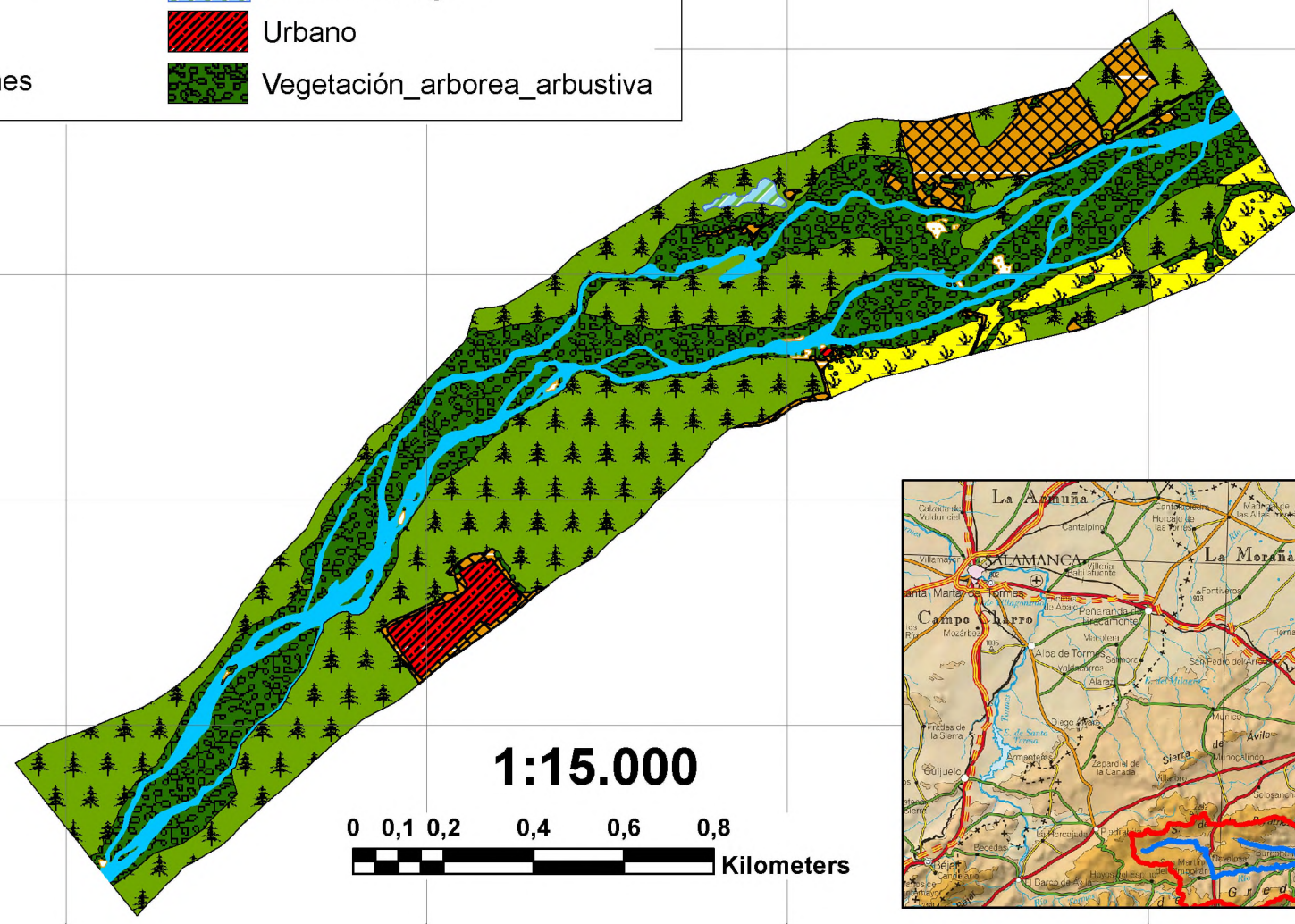
Coberturas del corredor ripario. Vega del río Alberche. Tramo 2, Año 2014.



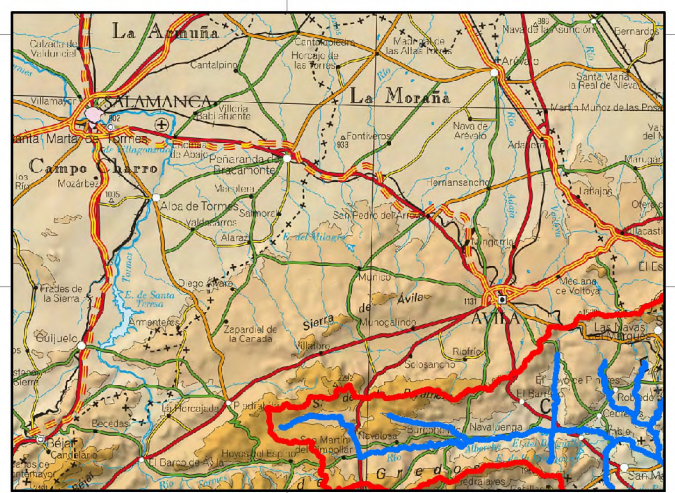
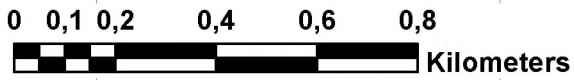
4447000
4446500
4446000
4445500
4445000

4447000
4446500
4446000
4445500
4445000

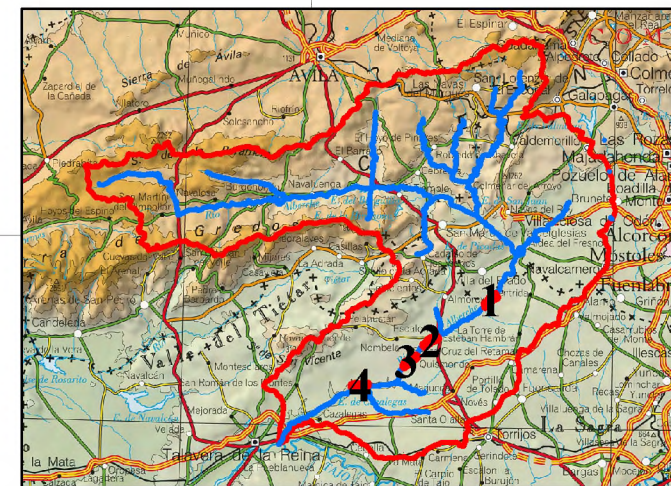
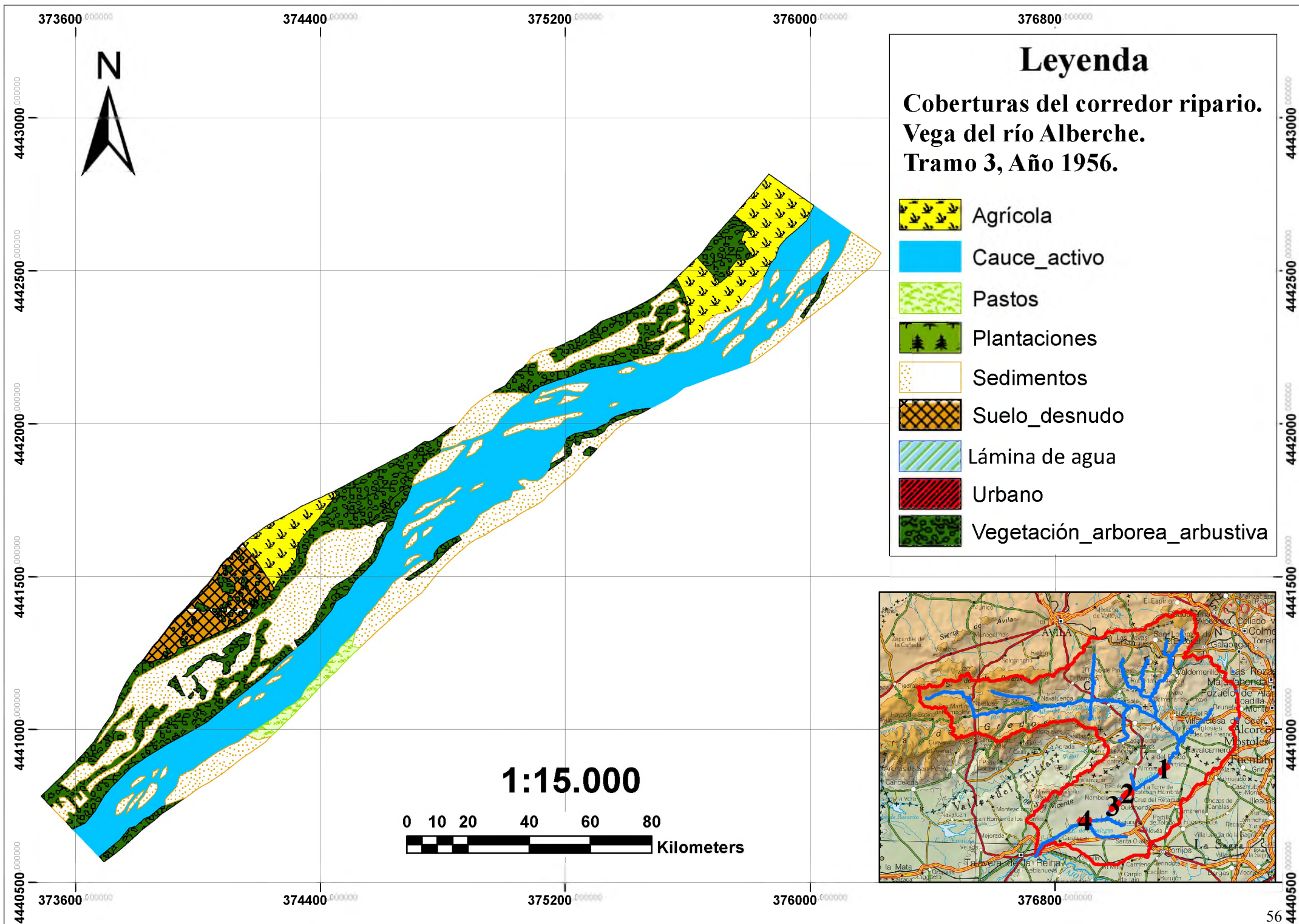
- | | | | |
|---|--------------|---|------------------------------|
|  | Agrícola |  | Sedimentos |
|  | Cauce_activo |  | Suelo_desnudo |
|  | Pastos |  | Lámina de agua |
|  | Plantaciones |  | Urbano |
| | |  | Vegetación_arborea_arbustiva |

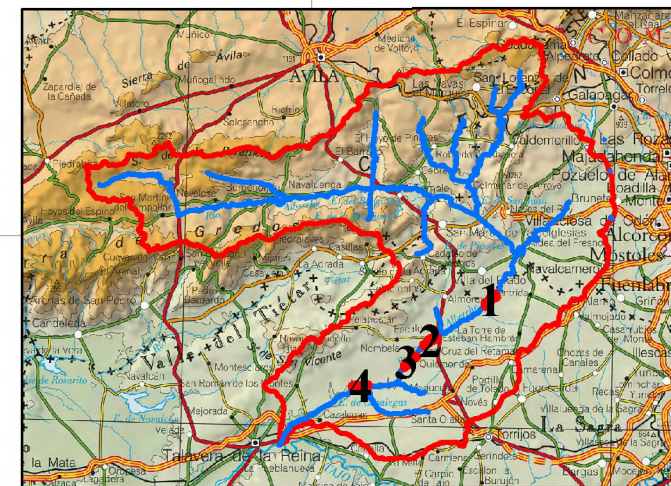
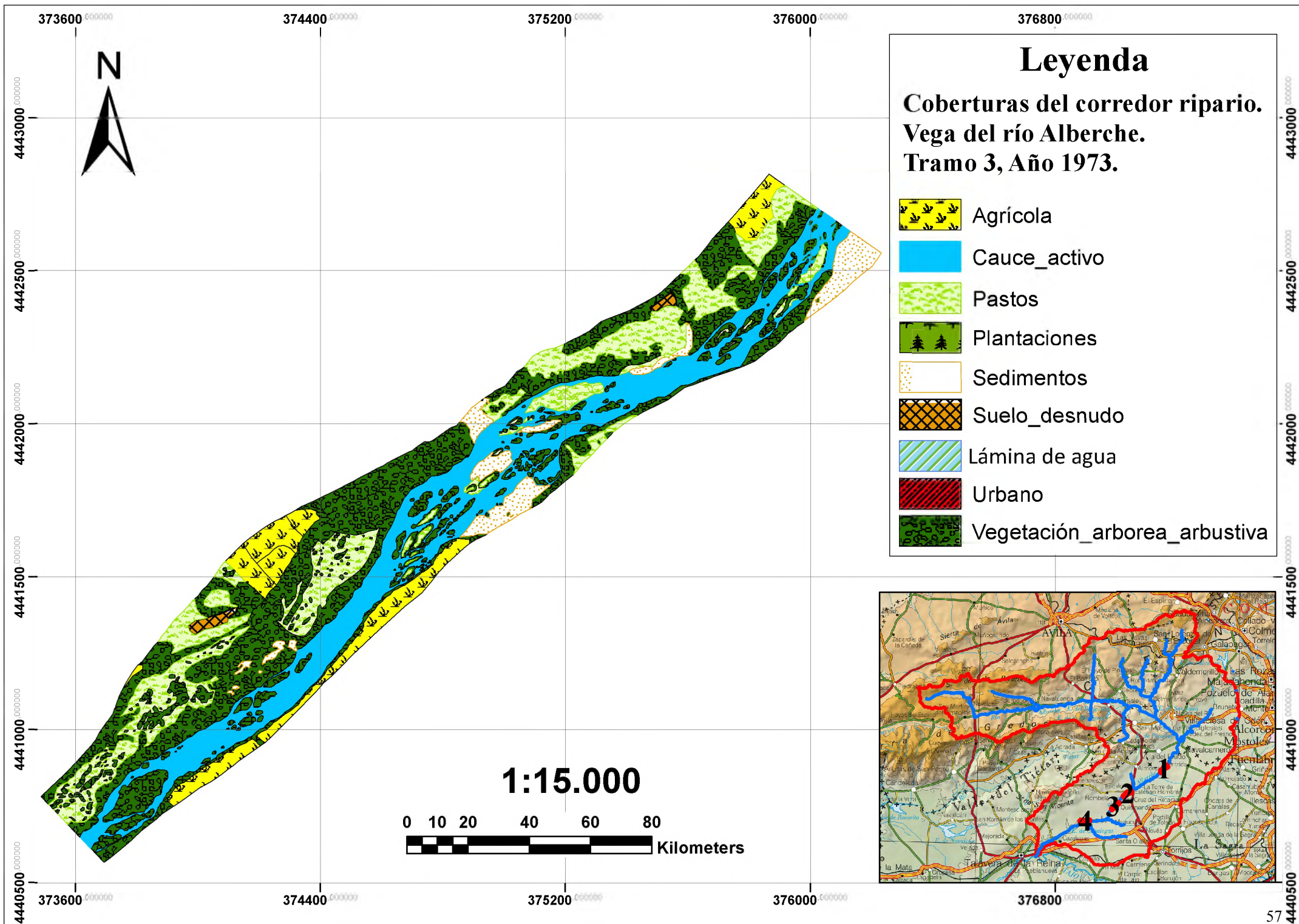


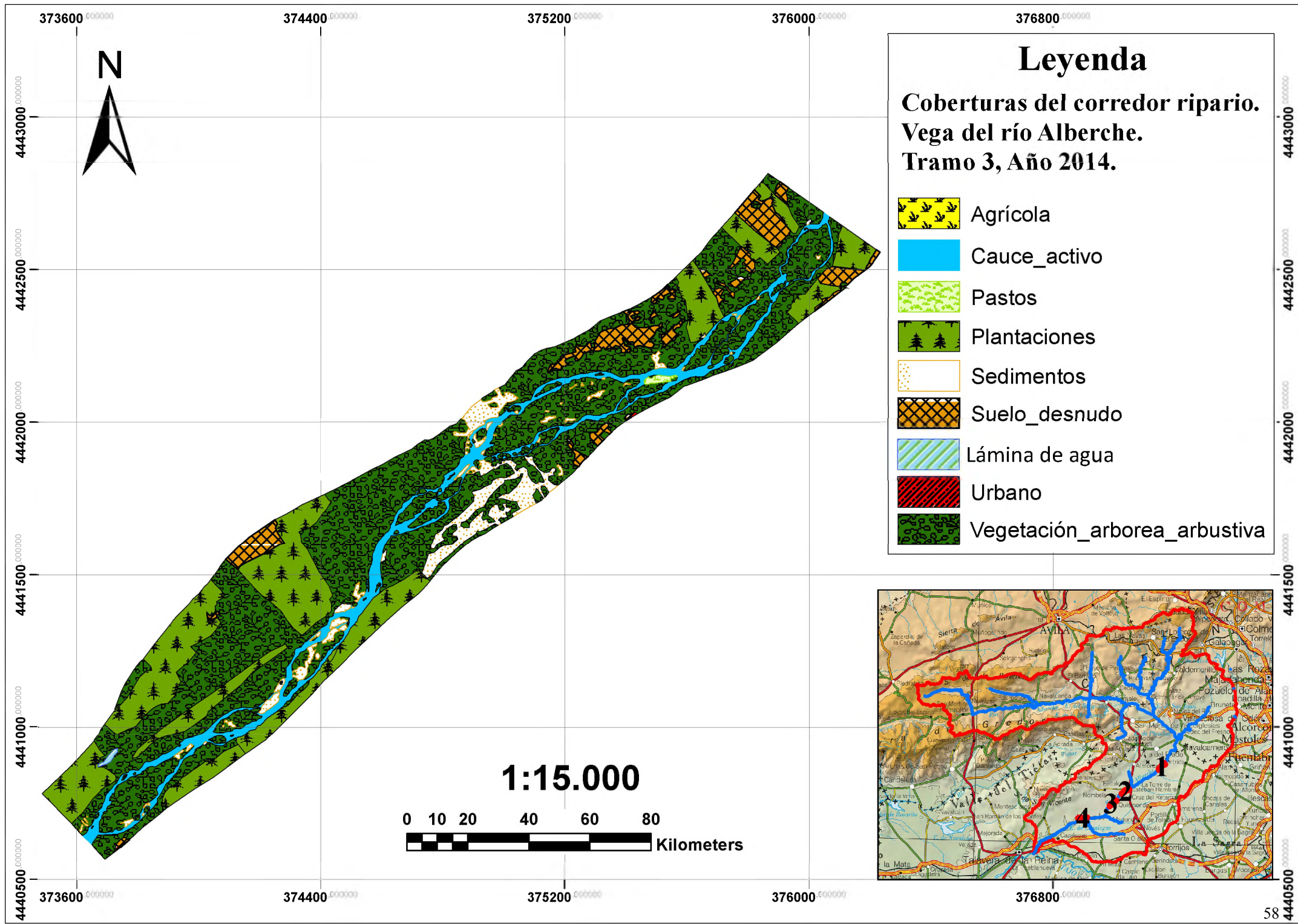
1:15.000



377600 378400 379200 380000







Leyenda

**Coberturas del corredor ripario.
Vega del río Alberche.
Tramo 3, Año 2014.**

-  Agrícola
-  Cauze_activo
-  Pastos
-  Plantaciones
-  Sedimentos
-  Suelo_desnudo
-  Lámina de agua
-  Urbano
-  Vegetación_arborea_arbustiva

1:15.000

