

Integración de datos territoriales de la Reserva Natural de la Laguna de Gallocanta como base para su gestión

A. Jiménez Castañeda¹, E. Luna Jordán¹, C. Castañeda del Álamo¹

¹ Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC, Av. Montañana 1005, 50059-Zaragoza.

geoazu.flysch@gmail.com, eluna@eead.csic.es, ccastaneda@eead.csic.es

RESUMEN. La Laguna de Gallocanta es el humedal salino con mayor extensión y el mejor conservado de Europa occidental. El clima semiárido y las fluctuaciones del nivel de agua en la laguna han condicionado la preservación de comunidades de seres adaptados a salinidad y sequía y radiación extremas. El equilibrio entre la conservación de estos hábitats y la actividad agrícola requiere conocimiento del estado del suelo, soporte para la agricultura y los ecosistemas, de forma continuada. Con este objetivo se ha hecho un estudio multitemporal de la distribución de la variable humedad de la transformación Tasseled Cap de imágenes Landsat. Se han contrastado los mapas de humedad obtenidos con el uso agrícola, la lluvia y suelos representativos del entorno del humedal. Las áreas con persistencia de humedad y áreas con elevada fluctuación muestran un patrón espacial cuya magnitud está condicionada por las lluvias anuales. La superficie con estado del suelo húmedo y muy húmedo supone el 20% del territorio y se concentra en la periferia de la laguna principalmente, donde se desarrollan Ardisoles con horizontes salinos y halófitos protegidos como la endémica *Puccinellia pungens*. En áreas menos inundables se tienen suelos poco desarrollados, y en fondos de valle pueden desarrollarse Mollisoles. Las áreas en estado seco, un 45% del territorio estudiado, se dedican al cereal de invierno. La interpretación de la variable humedad de la transformación Tasseled Cap con el conocimiento previo de la zona, proporciona una base para el seguimiento de la humedad a escala de paisaje. Su integración con datos de campo conforma una base consistente de información para la toma de decisiones en la gestión de la Reserva Natural Dirigida de la Laguna de Gallocanta.

Palabras-clave: Agroambiental, fluctuaciones de agua, humedad del suelo, Landsat, salinidad.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable, clave para la agricultura y soporte de los ecosistemas. El suelo apto para el uso agrícola es limitado y está sometido a presión continua para satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha declarado 2015 como año internacional de los suelos, incluyendo como objetivo el fomentar políticas reales que impulsen legislaciones. Algunos ejemplos son Islandia y EEUU, mientras que la Unión Europea aún no dispone de una Directiva de Suelos y España no tiene legislación específica.

La caracterización de los suelos permite identificar procesos edáficos y condiciones ambientales asociadas con cambios en las condiciones de humedad. Una herramienta común para estudiar usos y coberturas del suelo es la teledetección. Entre los satélites más empleados están los de la familia Landsat, cuya resolución temporal, espectral y espacial es satisfactoria para estudios multitemporales. La integración de información satelital y datos de campo en un sistema de información geográfica (SIG) permite ayudar a tomar decisiones necesarias para la gestión del territorio.

Un espacio natural propicio para integrar datos satelitales y del terreno en entorno SIG para obtener información básica para su gestión es la Laguna de Gallocanta y su entorno agrícola. Este humedal salino es único en Europa occidental y constituye un lugar estratégico de paso de aves migratorias. El entorno de la laguna, tradicionalmente agrícola cerealista de secano, es referencia en Aragón por la aplicación de medidas agroambientales específicas para compatibilizar la conservación del medio natural y el desarrollo agrícola. Sin embargo, la gestión está limitada por la ausencia de información básica y mapas temáticos relacionados con la distribución de los hábitats.

El objetivo del trabajo es aportar una base cartográfica de la variable “humedad” relacionándola con las características del suelo, que sea aplicable y sirva de base para la gestión de la Reserva Natural de La Laguna de Gallocanta.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Gallocanta es un humedal salino ubicado en el sector central del sistema Ibérico, a 1000 m de altitud, entre las provincias de Zaragoza y Teruel (Figura 1). Es Lugar de Importancia Comunitaria, Zona Especial de Conservación de la Red Natura 2000 y humedal Ramsar por su importancia como hábitat de paso e invernada de aves migratorias.

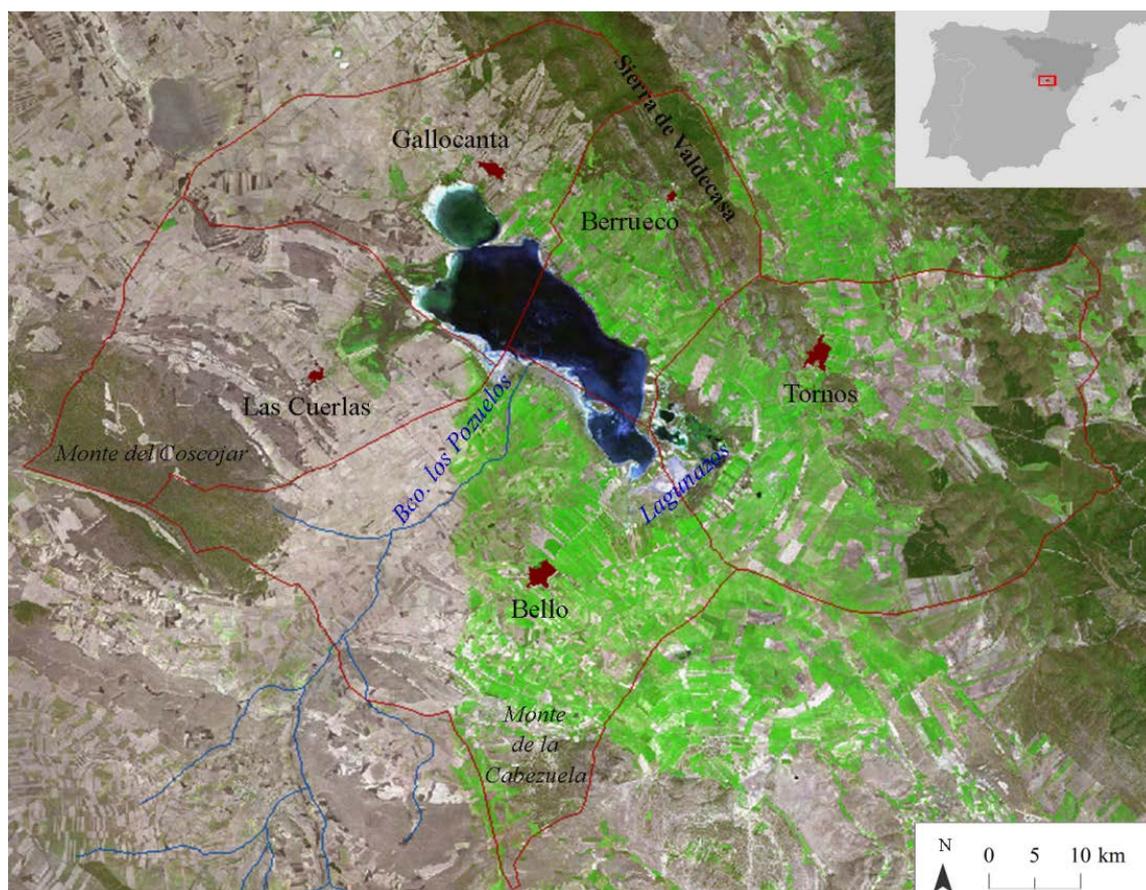


Figura 1. La Laguna de Gallocanta y los cinco municipios colindantes sobre un mosaico SPOT de 2009 del Instituto Geográfico Nacional.

El clima es semiárido mesotérmico (Liso y Ascaso, 1969) matizado por su elevada altitud. La precipitación media anual entre 1944 y 2013 es de 487 mm, según datos de la estación meteorológica de Tornos (2.5 km al NE de la laguna). La temperatura media anual es de 11.3 °C, con un 25% de días con helada al año. Los frecuentes vientos de noreste alcanzan a menudo velocidades superiores a los 80 km/h (Gracia, 1995).

El área de estudio abarca 19.2 ha y comprende los cinco municipios en que se asienta la laguna: Bello, Berrueco, Gallocanta, Las Cuerlas y Tornos. Los usos principales son: cereal de invierno (46%), pastos (7%), barbecho (6%) y cultivos de verano (5%). El resto son cultivos herbáceos, hortícolas, y leñosos, y superficie forestal (6%). Las prácticas agrícolas están reguladas por la aplicación de medidas agroambientales, dirigidas a la conservación de hábitats esteparios para aves. La Laguna de Gallocanta cuenta con seis medidas (Figura 2) de las cuales destacan: 1) generación de alimento para la avifauna en la reserva, 2) retirada de tierras en zonas perilagunares, y 3) mantenimiento del pastoreo, que se aplican sobre una extensión del 47%, 3%, y 0.3% del territorio, respectivamente.

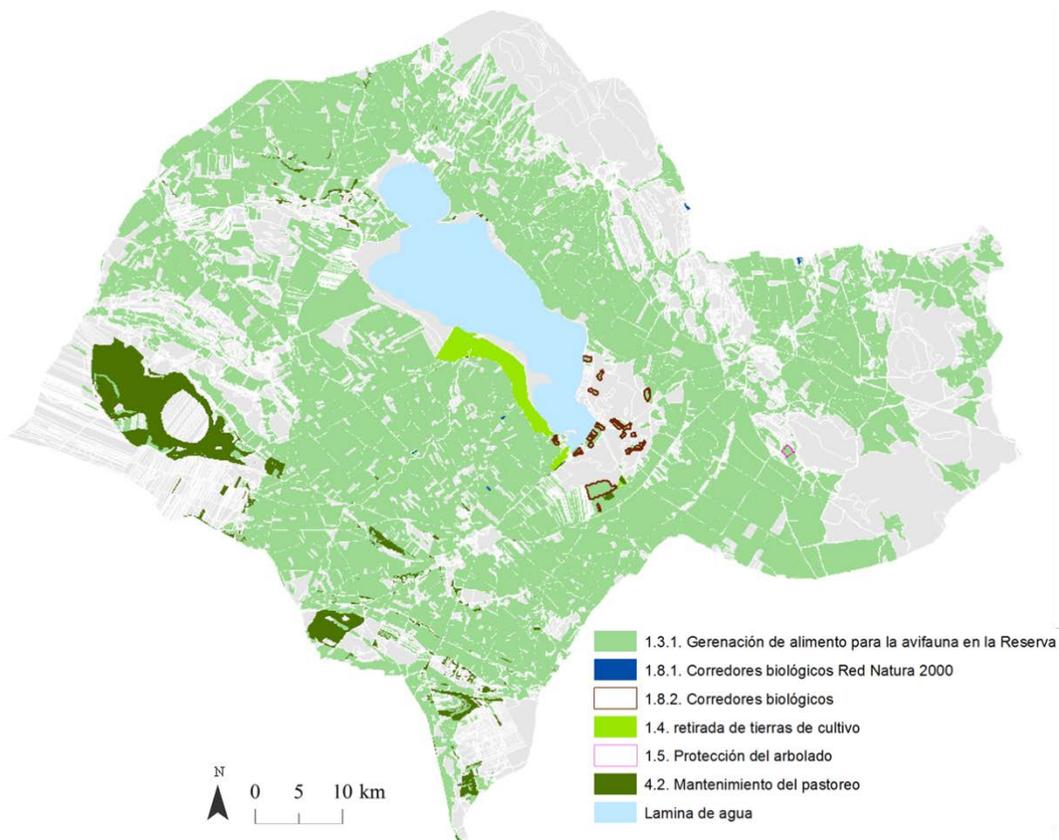


Figura 2. Medidas agroambientales aplicadas en 2014 en los municipios colindantes con la Laguna de Gallocanta.

3. METODOLOGÍA

Se ha analizado la variable humedad (Wetness) de la transformación Tasseled Cap (Kauth y Thomas, 1976; Crist y Cicone, 1984) de imágenes Landsat de diferentes fechas junto a datos meteorológicos y edáficos. Se han seleccionado imágenes Landsat, escenas 199/32 y 200/32, del servidor GloVis del USGS teniendo en cuenta la disponibilidad de imágenes libres de nubes (< 30%), y la distribución de años normales, secos y húmedos desde 1984 hasta la actualidad. Para aplicar el segundo criterio se han analizado las lluvias anuales de la estación más completa de la zona (Luna et al., 2014).

Se han seleccionado imágenes Landsat 5TM de otoño, época del año con la mayor superficie de suelo desnudo en la zona. Las imágenes se han corregido a valores de reflectividad aparente en superficie y se ha aplicado la transformación Tasseled Cap (TTC) mediante el programa GINASAT v1.0. La variable humedad TTC se ha clasificado de forma automática (Jenks, 1967) y se han obtenido mapas comparables entre fechas.

Como información auxiliar se han analizado: 1) las prácticas agrícolas, específicamente las medidas agroambientales que se aplican en la zona; 2) la lluvia previa a la adquisición de las imágenes; y 3) la combinación color RGB 543 que resalta las características espectrales del suelo. Finalmente, se han seleccionado zonas de interés para relacionar la información satelital con rasgos edáficos indicadores de humedad o de inundación intermitente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Mapas de humedad

La Figura 3 muestra los mapas de distribución de la humedad de la superficie del suelo en diferentes fechas obtenidos a partir de siete imágenes Landsat. En los mapas se representan cuatro clases de humedad relativa, interpretadas como suelo muy húmedo, húmedo, seco y muy seco.

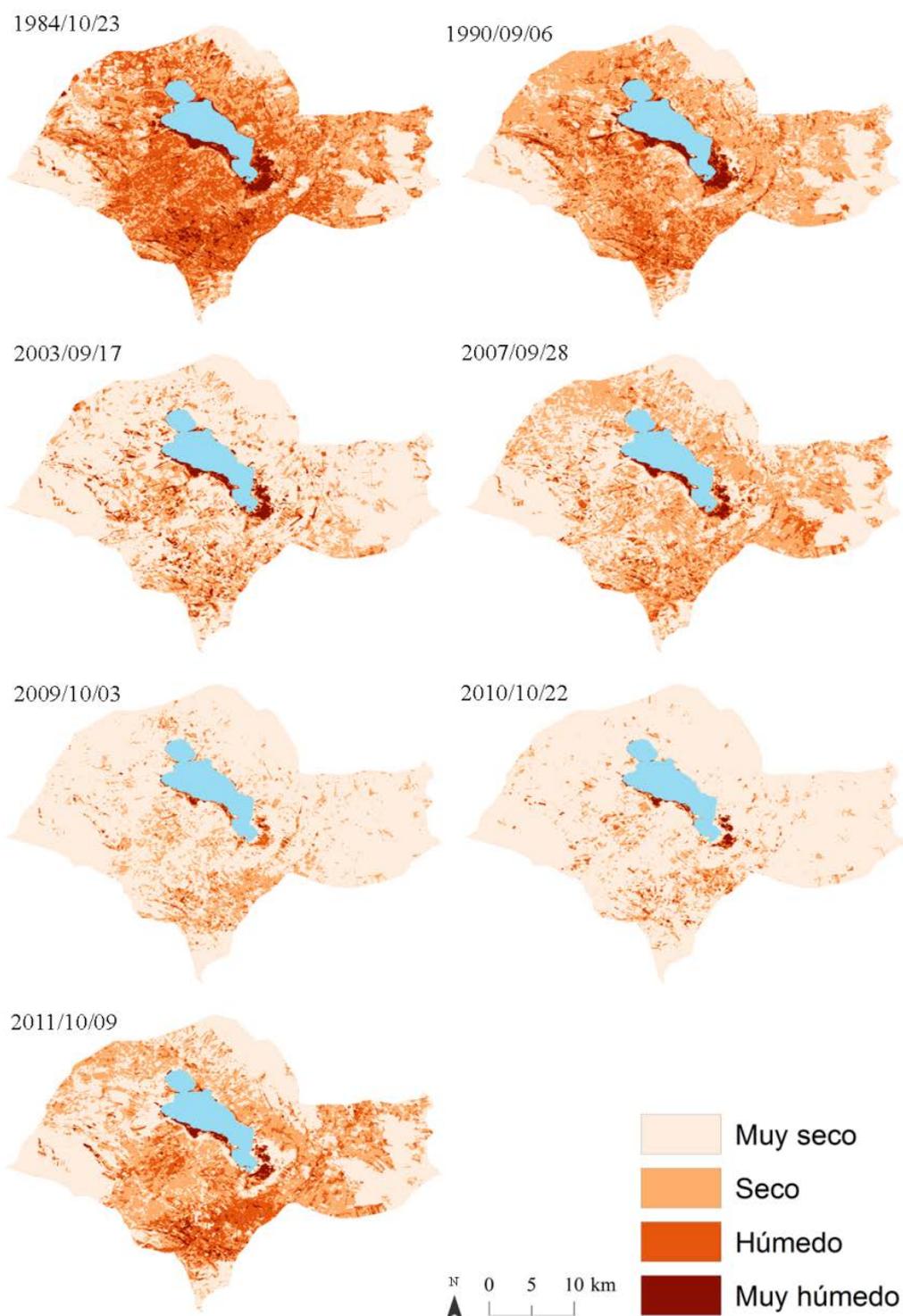


Figura 3. Mapas de humedad obtenidos de imágenes Landsat para las siete fechas seleccionadas.

La Tabla 1 y la Figura 4a recogen los estadísticos de la variable humedad en cada fecha, calculados para el conjunto de los cinco municipios. Se tienen diferencias significativas entre los años estudiados, con las medianas más altas en 1984 y 1990, años con el coeficiente de variación más bajo de entre los estudiados, 40.4 y 43.3, respectivamente, indicando una menor dispersión de valores de humedad en dichas fechas. El intervalo de variación más amplio se tiene en 1984.

Tabla 1. Precipitación anual (P) y las lluvias acumuladas desde enero (Pac) y los 5 días previos a la toma de la imagen (P5), junto a los estadísticos de la variable humedad en cada fecha estudiada.

Fecha imagen	P	Pac mm	P5	Mediana	Desviación estándar	Coficiente de variación	Intervalo
23/10/1984	457.3	393.4	7.6	0.112	0.045	40.3	0.90
06/09/1990	492.3	322.6	0.0	0.096	0.042	43.2	0.38
17/09/2003	576.9	396.4	0.0	0.056	0.045	72.1	0.49
28/09/2007	528.8	378.2	0.0	0.076	0.040	52.9	0.51
03/10/2009	503.5	295.6	14.0	0.043	0.036	80.3	0.49
22/10/2010	540.2	448.1	5.0	0.029	0.036	100.7	0.45
09/10/2011	406.7	320.7	0.0	0.083	0.047	58.2	0.45

La Figura 4b muestra la ocupación de cada clase de la variable humedad en los cinco municipios colindantes con la laguna. Predominan las clases *seco* y *muy seco*, con un 86% de extensión media para los años estudiados. En 1984 y 1990 se tiene mayor humedad, con un 39% y un 20% del territorio clasificado como *húmedo* y *muy húmedo*. En el resto de las fechas, estas clases ocupan menos del 9% del área de estudio, excepto en 2011, con un 16%. Los años más secos son 2009 y 2010, con un 84% y un 89% del territorio clasificado como *muy seco*.

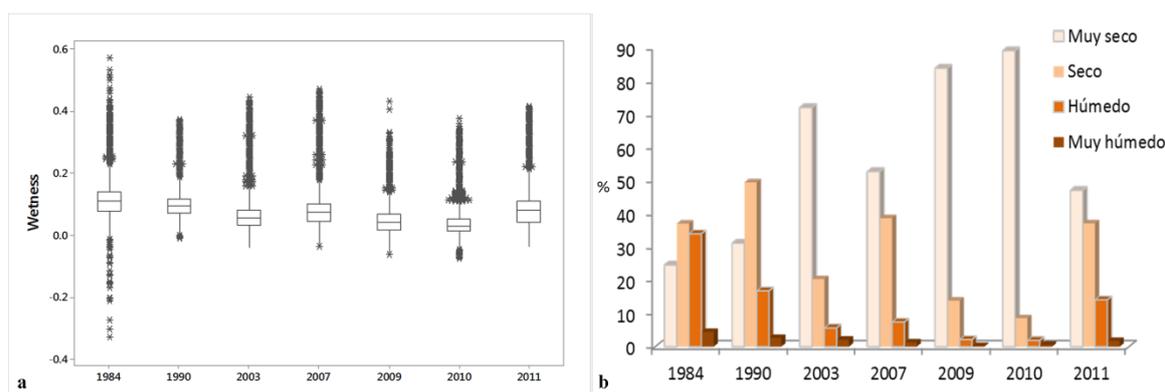


Figura 4. a) Distribución de valores de humedad en los siete años analizados, entre 1984 y 2011; b) Porcentaje ocupado por las clases de la variable humedad de la transformación Tasseled Cap en el área de estudio.

Se ha analizado la distribución de la variable humedad en dos fechas contrastadas, 1984 y 2010. Ambos años son pluviométricamente normales (Luna et al., 2014), es decir, con una precipitación inferior a la media más la desviación estándar, 534.3 mm y 509.8 mm en 1984 y 2010, respectivamente. Por otro lado, la humedad en la superficie del terreno puede considerarse similar puesto que los cinco días anteriores a la toma de la imagen las lluvias fueron también similares, 7.6 mm y 5 mm, en 1984 y 2010, respectivamente (Tabla 1). Sin embargo los mapas de humedad (Figuras 3 y 4a) muestran valores significativamente diferentes.

El porcentaje de superficie clasificada como *seco* y *muy seco* en ambos años es del 61% y 98%, respectivamente, y los valores de las medianas son 0.11 y 0.03, respectivamente (Figura 5). En 1984, la clase *muy húmedo* ocupa el 5% de la superficie total estudiada, mientras que en 2010, la extensión de esta clase es menor del 1%.

A pesar de las diferencias generales del estado de la superficie del suelo en los dos años, el municipio de Bello destaca en ambos años por presentar: 1) la mediana más alta, con valores de 0.14 y 0.05, respectivamente (Figura 5), y 2) el coeficiente de variación más bajo, indicando una menor dispersión de los valores de humedad. Los coeficientes de variación más altos corresponden a Tornos en 1984 (44) y a Berruoco en 2010 (125).

Los mapas de humedad muestran que la humedad también se concentra en ambos años en la zona perlagunar (Figura 3). La Tabla 2 resume la ocupación de cada clase de humedad por municipios en 1984 y 2010. Todos los municipios, especialmente Bello, presentan un marcado descenso de superficie clasificada como *húmedo* y *muy húmedo*, pasando de porcentajes que varían entre el 62% de Bello y el 27% de Tornos y Las Cuerlas en 1984, a menos del 1% en 2010. Bello mantiene húmeda una superficie del 5% en 2010 (Tabla 2).

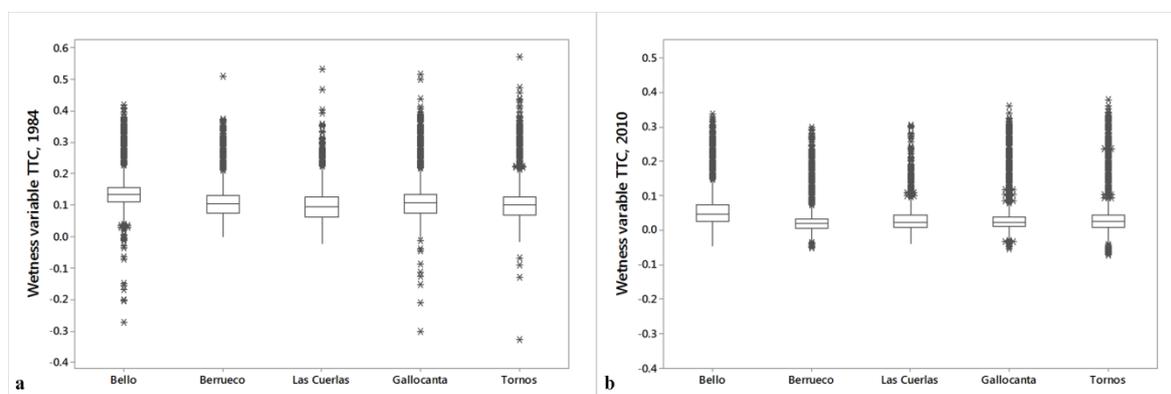


Figura 5. Valores de la variable humedad TTC obtenidos de imágenes Landsat en octubre de 1984 (a) y 2010 (b) para los cinco municipios de limitan con la laguna.

Tabla 2. Porcentaje de superficie ocupada por cada clase de la variable humedad en cada municipio, en 1984 y 2010.

Municipio	Porcentaje de superficie							
	Muy seco		Seco		Húmedo		Muy húmedo	
	1984	2010	1984	2010	1984	2010	1984	2010
Bello	9.4	77.6	28.3	17.8	53.9	4.0	8.4	0.6
Berrueco	27.7	97.3	43.1	1.6	26.9	0.7	2.3	0.5
Las Cuerlas	36.8	92.0	36.2	6.7	24.5	1.1	2.5	0.1
Gallocanta	26.4	95.4	40.8	3.0	29.5	1.1	3.4	0.5
Tornos	30.5	93.0	42.9	5.2	23.8	0.9	2.8	0.9

Trabajos anteriores (Pérez Bujarrabal, 2014) muestran que el nivel de agua en la laguna fue máximo en los años 80, con 2.84 m registrados en 1974, y que la presencia de agua en la laguna ha ido disminuyendo en las últimas décadas, habiéndose observado completamente seca en diferentes veranos a partir de 2010. También las precipitaciones registradas en la última década son inferiores a la media obtenida para series más largas (Luna et al., 2014).

4.2. Áreas con persistencia de humedad

El mapa de persistencia de la humedad obtenido mediante la suma de los mapas de las siete fechas (Figura 6) muestra un patrón, es decir, una distribución característica de áreas húmedas y secas en el territorio estudiado, y que corresponde con las condiciones de la superficie del suelo. El 36% del territorio se clasifica como *muy seco* y corresponde a las zonas de uso forestal; la superficie clasificada en estado *seco* se extiende en un 45% del territorio, y corresponde, en general, al suelo agrícola declarado como cereal de invierno. En general, este suelo está desnudo en los meses de septiembre y octubre, aunque las condiciones de superficie como la rugosidad pueden variar de unas parcelas a otras debido a las prácticas agrícolas.

La superficie en estado *húmedo* y *muy húmedo* supone el 20% del territorio y se concentra en la periferia de la laguna y en el sur del área de estudio (Figura 6). Los suelos muy húmedos de la periferia están relacionados directamente con las fluctuaciones del nivel de agua de la laguna. Las zonas húmedas situadas fuera de la influencia directa de la laguna están condicionadas por diversos factores cuya interpretación requiere un análisis de mapas geológicos y de suelos, no disponibles a escalas adecuadas.

Se aprecian diferencias de humedad entre los municipios situados al norte de la laguna (Berrueco, Gallocanta y Tornos) y los del sur (Las Cuerlas y Bello). En el norte, los suelos húmedos (estado *húmedo* y *muy húmedo*) suponen una media del 10%, siendo Berrueco el municipio más seco (9%) y Tornos el más húmedo (13%) debido a la presencia de zonas encharcables en el extremo sureste de la laguna, Los Lagunazos. En el sur de la laguna destaca el municipio de Bello, con un 41% de la superficie con suelos húmedos (Figura 6) que se concentran en la periferia de la laguna y en la vertiente del Monte de la Cabezuela (Figura 1).

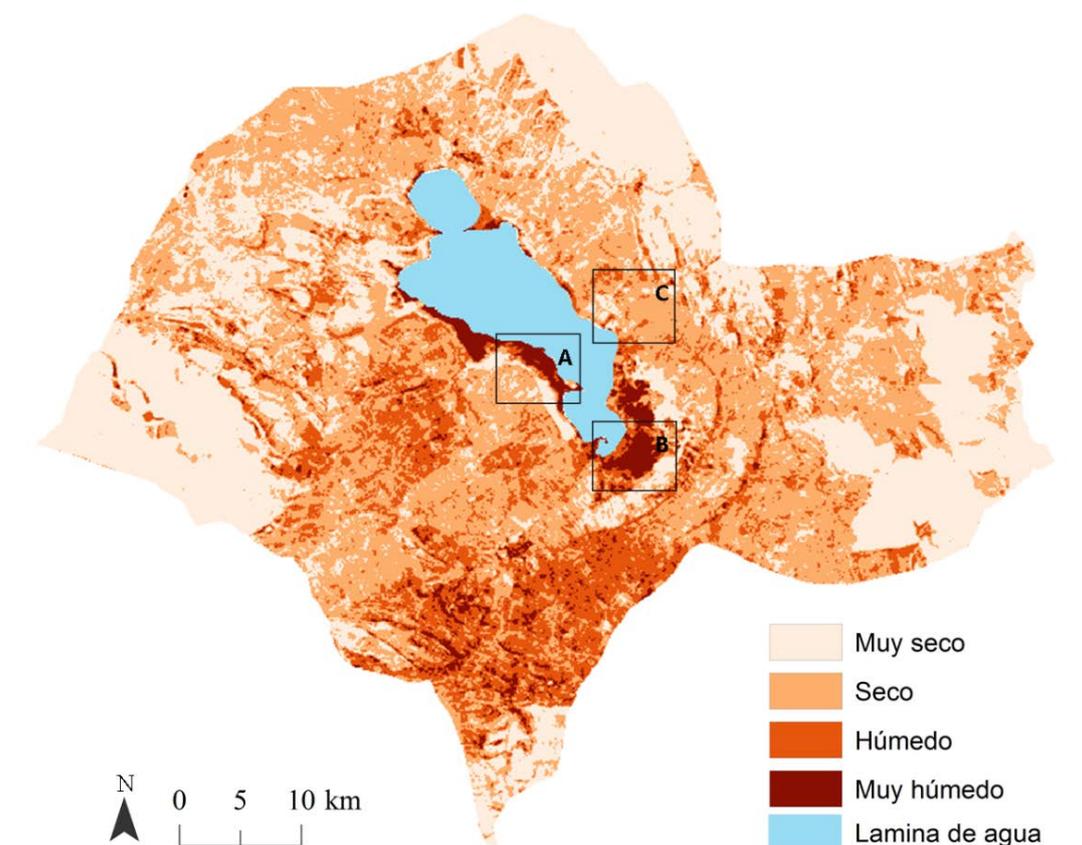


Figura 6. Mapa de persistencia de la variable humedad de la transformación Tasseled Cap, obtenido de 7 fechas, entre 1984 y 2011. Los recuadros A, B y C se mencionan en el texto.

4.3. Características hídricas de suelos en zonas de persistencia de humedad

Los suelos, i.e. su estudio en el perfil y en el paisaje, reflejan condiciones húmedas en su formación; estas condiciones pueden ser actuales o pasadas. Los suelos de zonas con persistencia de humedad e inundables actualmente predominan en la periferia de la laguna. Son suelos clasificados en estado *muy húmedo* (Figura 6, recuadros A y B) y están intermitentemente saturados de agua lo que se asocia a sus rasgos hídricos específicos. La proximidad a la laguna salada les proporciona además el rasgo de la salinidad. La humedad y salinidad del suelo condicionan el desarrollo del cultivo y la presencia de praderas con vegetación adaptada y con diferente recubrimiento atendiendo a la microtopografía.

Otras zonas clasificadas como *húmedo* o incluso *seco* (Figura 6, recuadro C), por encima del nivel actualmente inundable de la laguna, tienen suelos que reflejan condiciones hídricas en el pasado (Hernández-Pacheco, 1926). Son zonas que han cambiado de uso, de pastoreo a agrícola, favoreciendo el drenaje en épocas de encharcamiento.

La **orilla sur** de la laguna (Figura 6, recuadro A) presenta un escaso desnivel topográfico que favorece la formación de franjas u orlas de diferente humedad paralelas a la laguna, estableciéndose un gradiente desde la zona alta no inundable y dedicada al cultivo, hasta la orilla de la laguna anualmente inundable y de carácter muy salino. Los suelos de las orlas más húmedas son Aridisoles (Soil Survey Staff, 2014) y presentan rasgos hídricos indicadores de saturación intermitente, relacionados con las fluctuaciones del nivel de agua de la laguna. La textura fina de los horizontes del suelo y su color gris indican que estos suelos se

han formado en condiciones palustres (Castañeda et al., 2015). Además, son frecuentes las manchas de reducción y oxidación indicando movilización de hierro y manganeso en condiciones anaerobias producidas por encharcamiento.

El horizonte superficial de estos suelos suele estar húmedo, es muy salino y tienen un contenido de materia orgánica bajo, inferior al 1%. La vegetación está adaptada a la salinidad edáfica y a la sequía estival. Se dan praderas de *Salicornia patula*; pastizales salinos de *Puccinellia fasciculata* y comunidades de *Limonium sp.pl.* En las zonas más alejadas de la orilla se desarrollan Inceptisoles cuyo carácter áquico desaparece en la orla más externa, en parcelas cultivadas.

Al **sureste de la laguna** (Figura 6, recuadro B) las inundaciones extraordinarias inundan los suelos creando zonas encharcadas que albergan hábitats singulares condicionados por el agua subterránea salina y la escorrentía de agua dulce. Los suelos más frecuentemente inundados son Aridisoles, y son salinos especialmente en los horizontes superficiales. Son suelos predominantemente desnudos o colonizados con vegetación halófila, con un contenido medio-bajo de carbonatos (12%) y poca materia orgánica (< 0.5%). Albergan especies endémicas como *Puccinellia pungens*, incluida en el Anexo II de la Directiva Hábitats (92/43/CEE) y catalogada como “Vulnerable” en la Lista Roja de la Flora Vasculosa Española (Moreno, 2008), así como plantas adaptadas a la salinidad y a la sequía estival como *Frankenia pulverulenta*, *Salsola soda*, *Hordeum marinum*, *Salicornia patula* y comunidades de *Elymus*.

En zonas menos inundables se dan Inceptisoles, no salinos, que favorecen el desarrollo de pastizales y juncuales. Estos suelos tienen mayor contenido en materia orgánica (3.5%) y mayor contenido en carbonatos (36%). En general el uso agrícola es escaso, excepto en lomas que, al quedar más elevadas, están libres de inundación.

La **orilla norte** de la laguna (Figura 6, recuadro C) es vertiente sur de la Sierra de Valdecasa (1400 m s.n.m) por lo que se alcanzan 15 m de desnivel desde la laguna hasta los primeros campos de cultivo. Los suelos de zonas altas, actualmente no están influenciados directamente por las fluctuaciones del nivel de agua de la laguna; son Mollisoles y no tienen salinidad. Estos suelos se caracterizan por un horizonte superficial oscuro y profundo, hasta 60 cm, indicando su formación en condiciones diferentes a las actuales, con una vegetación permanente y más humedad que la observada hoy, en campo (Figura 7) y mediante satélite (Figura 3). El descenso de precipitaciones y del nivel medio de la laguna en las últimas décadas (García Vera et al., 2009) han favorecido el cambio de uso en la zona, pasando de pastizal a cultivo, como se observa en la Figura 7. El actual cultivo de girasol indica que aún se concentra en la zona algo de humedad.

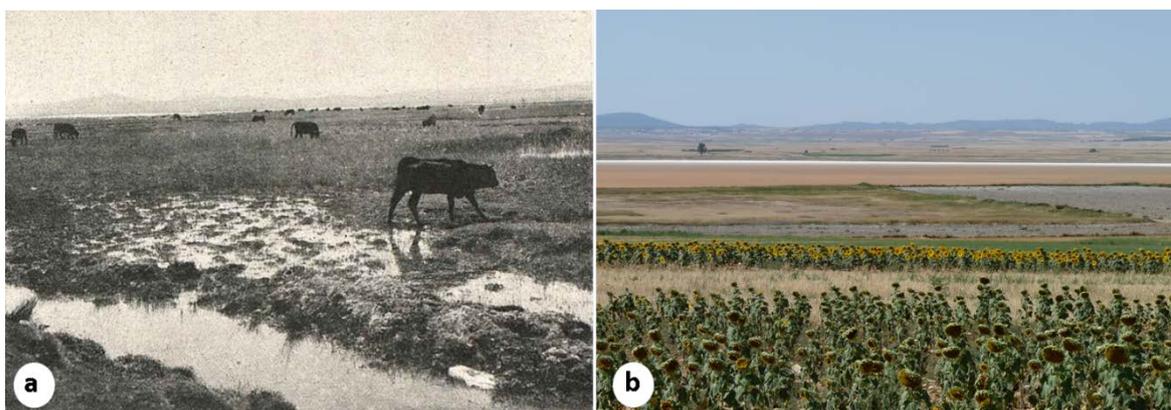


Figura 7. Orilla norte de la laguna donde se observa el cambio de uso y de condiciones de humedad de los suelos. a) pastizales para ganadería (de Hernández-Pacheco, 1929) y b) cultivos actuales junto a parcelas abandonadas por exceso de humedad.

Los suelos cercanos a la orilla son Aridisoles, con horizontes superficiales grises y con rasgos de oxidación y reducción similares a los de la orilla sur (Figura 6, recuadro A). El gradiente de salinidad y de humedad en los suelos de esta orilla es más abrupto que en la orilla sur (Figura 6) debido al predominio de la erosión (Castañeda et al, 2015). Se desarrollan estrechas pero continuas orlas de *Salicornia* y *Puccinellia*.

En las tres zonas estudiadas se observa una relación entre la distribución de zonas con persistencia de humedad y los rasgos edáficos indicadores de encharcamiento y saturación de agua. Teniendo en cuenta la relación entre suelos y rasgos geomorfológicos (Castañeda et al., 2013), se observa una progresión de

Mollisoles, en fondos de valle de vertientes actualmente con cultivos, a Inceptisoles en zonas intermedias sobre depósitos fluviolacustres, y Aridisoles en las orillas y fondos actualmente inundables, cuyos suelos muy salinos son colonizados por halófitos.

5. CONCLUSIONES

La integración de datos multitemporales satelitales de la familia Landsat en entorno SIG junto con otros datos territoriales como el uso agrícola, rasgos geomorfológicos y edáficos, permite generar información consistente para la gestión de espacios protegidos y su entorno.

La interpretación de la variable humedad de la transformación Tasseled Cap con el conocimiento previo de la zona, proporciona una base para el seguimiento de la humedad a escala de paisaje. Es necesario conocer las condiciones de la superficie del terreno para su interpretación, siendo deseable disponer de datos de campo simultáneos a la fecha de adquisición de la imagen.

Los rasgos edáficos de saturación de agua junto con la distribución de hábitats adaptados a la salinidad son indicadores de cambios en las condiciones de humedad del suelo correlacionadas con las fluctuaciones del nivel de agua de la laguna. La distribución de los suelos salinos y los gradientes de salinidad y humedad indican la extensión de la actual zona de inundación.

Integrando el estudio de los suelos con rasgos del paisaje obtenidos mediante imágenes de satélite se tiene información valiosa, como los patrones de humedad, para entender de forma integrada el funcionamiento de la laguna y su área de influencia, ayudando en la toma de decisiones sobre su gestión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto AGL2012-40100 del Ministerio de Economía y Competitividad. Los datos meteorológicos han sido suministrados por AEMET. A. Jiménez ha desarrollado su proyecto fin de Máster en la EEAD y E. Luna disfruta de una beca predoctoral del Gobierno de Aragón.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Castañeda, C., Gracia, F.J., Meyer, A., Romeo, R. 2013. Coastal landforms and environments in the central sector of Gallocanta saline lake (Iberian Range, Spain). *J. Maps* 9(4), 584-589.
- Castañeda, C., Gracia, F.J., Luna, E., Rodríguez-Ochoa, R. 2015. Edaphic and geomorphic evidences of water level fluctuations in Gallocanta Lake, NE Spain. *Geoderma* 239-240, 265-279.
- Chuvieco, E. 2010. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Tercera Ed. Revisada, Barcelona. Editorial Ariel. ISBN 978-84-344-3498-1. 528 pp.
- Crist, P., Cicone, R.C. 1984. A physically based transformation of Thematic Mapper data-The TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, GE-22, 256-263.
- García-Vera, M.A., San Román Saldaña, J., Blasco Herguedas, O., Coloma López, P. 2009. Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta e implicaciones ambientales. In: Casterad, M.A., Castañeda, C. (Eds.), *La Laguna de Gallocanta: Medio natural, conservación y teledetección*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural 7, 79-104 (http://digital.csic.es/bitstream/10261/61407/1/CasteradMA_LagunaGallocanta%28Lib%29_2009.pdf).
- Hernández-Pacheco, F., Aranegui, P. 1926. La laguna de Gallocanta y la geología de sus alrededores. *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat.* 26, 419-429. (<http://bibdigital.rjb.csic.es/ing/Libro.php?Libro=1239>).
- Jenks, G.F. 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping, *International Yearbook of Cartography* 7, 186-190.
- Kauth, R.J., Thomas, G.S. 1976. The tasseled Cap- A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University of West Lafayette, Indiana, pp. 4B-41 a 4B-51.
- Liso, M., Ascaso, A. 1969. Introducción al estudio de la evapotranspiración y clasificación climática de la cuenca del Ebro. *Anales Estación Exp. Aula Dei* 10, 523 pp. (<http://digital.csic.es/handle/10261/5565>).
- Luna, E., Latorre, B., Castañeda, C. 2014. Rainfall and the presence of water in Gallocanta Lake. *Proceeding of the IX European Wetland Congress, Wetlands Biodiversity and Services: Tools for Socio-Ecological Development*, Huesca, Spain, p. 164.

- Moreno, J.C. (coord.). 2008. Lista Roja 2008 de la flora vascular española. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, y Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas), Madrid, 86 pp. (<https://www.uam.es/otros/consveg/documentos/listaroja08baja.pdf>).
- Pérez Bujarrabal, E. 2014. Recordando Gallocanta, 1972–1984. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Biología, 108, 107-123.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA - Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, 360 pp.