

LA HUMEDAD EDÁFICA COMO FACTOR CONDUCTOR EN EL CAMBIO DEL PAISAJE DE LA COMARCA NATURAL DEL “CARRACILLO” (SEGOVIA)

Laura Merino Gómez, Inmaculada Prado García, S. de Diego Jurado, Valentín Gómez Sanz y Juan Ignacio García Viñas

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n 28040-MADRID (España). Correo electrónico: lauraborox@hotmail.com

Resumen

En la comarca segoviana del “Carracillo”, ubicada en la región natural de Tierra de Pinares, el uso humano del territorio y la dinámica de las formaciones vegetales están muy determinadas por sus singulares condiciones edáficas, circunstancia que ha tenido una considerable trascendencia en la evolución del paisaje. En este ámbito, el trabajo realizado ha buscado evaluar el papel que juega la variabilidad espacial de la humedad del suelo en los cambios producidos en el paisaje en el periodo de tiempo comprendido entre los años 1956 y 1999. Los resultados conseguidos muestran que para el total del territorio, los cambios dominantes han sido positivos, con una densificación de las cubiertas forestales por descenso de la presión ganadera y el abandono de la producción resinera o de cultivos agrícolas de escasa rentabilidad en ladera o cima de duna. En las zonas de depresión, la mayor disponibilidad hídrica en el suelo ha llevado a una reducida tasa de cambio consecuencia del mantenimiento de los usos establecidos, dada su elevada rentabilidad. Las posibles actuaciones destinadas a la minimización de los efectos de la sobreexplotación del acuífero (recarga artificial) pueden tener trascendencia en la dinámica futura del paisaje en el territorio estudiado, al alterar los patrones espaciales de comportamiento de la humedad edáfica, aspecto que debería ser considerado en la planificación y ejecución de las mismas.

Palabras clave: *Ecología del paisaje, Pinus pinaster, Tierra de Pinares, Arenas continentales*

INTRODUCCIÓN

El paisaje se presenta como el nivel de organización biológica donde los efectos combinados del uso humano del territorio sobre el soporte físico y su respuesta biológica llegan a ser observables, de tal forma que el estudio de las causas, procesos y consecuencias de sus cambios es una de las principales líneas de investigación de la Ecología del Paisaje.

La comprensión de su comportamiento dinámico requiere de la correcta identificación y caracterización de los procesos subyacentes que lo dirigen (BÜRGI *et al.*, 2004; CHEN & HU, 2004). En este ámbito, las variaciones, tanto espaciales como temporales, de la humedad edáfica están recibiendo una creciente atención debido al trascendente papel que juegan en muchos de los procesos biogeoquímicos que se desarrollan en el sistema atmósfera-superficie

terrestre y la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas (BARNES *et al.*, 1998; RODRÍGUEZ-ITURBE & PORPORATO, 2004). Sobre este escenario, el agua en el suelo también determina el uso humano del territorio al condicionar las disponibilidades hídricas para la adecuada rentabilidad de sistemas productivos agroforestales. Todo ello hace de la humedad edáfica uno de los factores más determinantes en los cambios espacio-temporales de los patrones del paisaje (BELDRING *et al.*, 1999; EVETT, 2000; PAUL *et al.*, 2003; BÚRGI *et al.*, 2004).

En los sistemas naturales, la humedad del suelo en la zona insaturada varía en función de las entradas de agua por precipitación y la cantidad de agua intercambiada con la atmósfera y con el agua freática. Sobre este conjunto de procesos, la topografía tiene un efecto significativo (condiciona los flujos de agua subsuperficiales, la posición de los niveles freáticos y el comportamiento energético de la superficie del suelo), por lo que las distintas posiciones fisiográficas pueden ser utilizadas para distinguir entre distintas unidades de respuesta hidrológica (THOMPSON & MOORE, 1996; BELDRING *et al.*, 1999; CHEN & HU, 2004). Esta circunstancia llega a ser muy explícita cuando el sistema hidrológico presenta características especiales como niveles freáticos cerca de la superficie del suelo con variación temporal, o suelos altamente permeables debido al especial substrato geológico –arenas eólicas- (RONEN *et al.*, 2000;

NIELSON & PERROCHET, 2000; CHEN & HU, 2004). Ambas condiciones especiales aparecen en la región natural de Tierra de Pinares en el centro de la Península Ibérica, determinando fuertemente el uso humano del territorio y las estructura y función del paisaje resultante.

El trabajo que se presenta ha sido desarrollado bajo el objetivo de relacionar diferentes aspectos del comportamiento hidrológico del territorio -paisaje hidrológico (WINTER, 2001) - con la respuesta observada en la variabilidad espacio-temporal del agua del suelo en la zona no saturada y su repercusión sobre el cambio del paisaje acaecido en los últimos años.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio queda enclavada en la comarca segoviana del “Carracillo” (Figura 1), delimitada por las coordenadas UTM: 391500 / 4569750; 396500 / 4572750. Responde a un territorio de suave orografía, determinada por depósitos eólicos cuaternarios de arenas cuarzosas sobre los que se instala una cubierta vegetal dominada por *Pinus pinaster*, apareciendo de forma intercalada superficies dedicadas a cultivos de regadío.

El análisis de la dinámica del paisaje se ha llevado a cabo a partir de la identificación espacial y posterior caracterización de los cambios acaecidos en los Tipos de Uso y/o Cubierta del

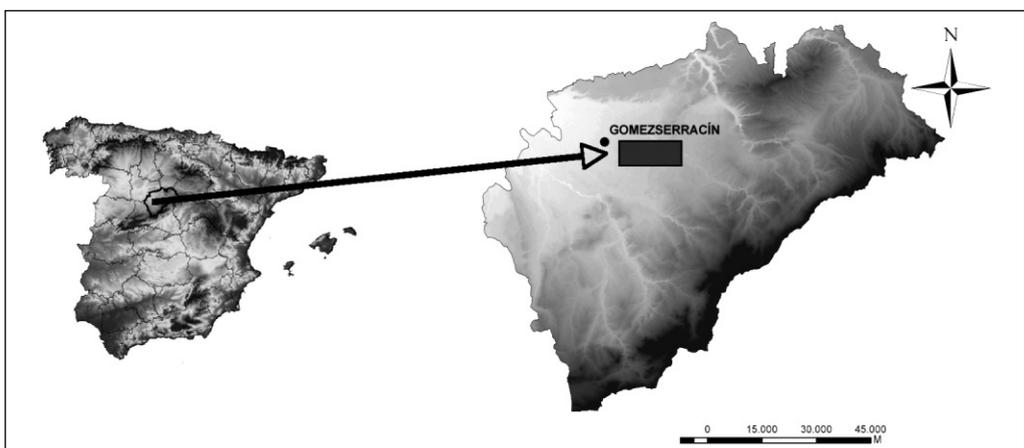


Figura 1. Localización general del área de estudio

suelo (TUC) -categoría de territorio establecido mediante la consideración de su cubierta y su uso (ELENA ROSELLÓ, 2003)-, en el área de estudio.

Mediante fotointerpretación se han creado capas o estratos cartográficos digitales, compuesto por teselas que representan a un solo TUC, correspondientes a los años 1956 y 1999. La posterior superposición de ambas capas ha permitido obtener una nueva capa en la que se reflejan los cambios que se han producido en el paisaje para ese periodo de tiempo, y se ha procedido a la caracterización cuantitativa de los mismos a través de la correspondiente matriz de cambios. La tipología de cambios considerada ha sido: mantenimiento, aclarado débil, aclarado intenso, deforestación débil, deforestación intensa, forestación débil, forestación intensa, densificación débil y densificación intensa (GARCÍA DEL BARRIO *et al.*, 2003).

Una vez identificados el total de los procesos de cambios para la zona de estudio, se ha realizado la clasificación ecológica de los mismos según la evolución sufrida, de tal forma que se consideren evoluciones neutras aquellas que no suponen cambios ni en el uso del suelo ni en la densidad de cubierta vegetal; positivos aquellos que implican un cambio de uso a forestal o bien, aumente su densidad en caso de tener cubierta forestal; y negativos los que han cambiado a otros usos distintos a los forestales o bien, que siendo de uso forestal han disminuido la densidad de cubierta vegetal (ELENA ROSELLÓ, 2003).

Paralelamente, el papel de la fisiografía en la variabilidad de las tasas de humedad edáfica se ha evaluado a partir de los datos del seguimiento en campo de su comportamiento durante un año completo (Diciembre 2003-Noviembre 2004) realizado por GÓMEZ SANZ & GARCÍA VIÑAS (2006). Para este trabajo se procedió a la selección de 11 localizaciones de seguimiento representativas de las distintas posiciones fisiográficas identificadas en el área de estudio y el tipo de uso y/o cubierta vegetal que las caracteriza. Las mediciones de la humedad edáfica se efectuaron con un equipo TDR (TRADE SYSTEM, modelo 6050X1) equipado con unas varillas de acero de longitud de 0 a 45 cm, siguiendo una periodicidad mensual.

Partiendo del modelo digital del terreno (MDT), la herramienta Topographic Position Index v.1.2, extensión implementada en ArcView 3.2., ha permitido elaborar un mapa de posiciones fisiográficas para el área de estudio, que cruzado con la capa de evolución del paisaje, mediante ArcGIS 9.0, ha llevado a la obtención de una capa final en la que se recoge la evolución del paisaje asociada espacialmente a las distintas posiciones fisiográficas consideradas.

RESULTADOS

El análisis diacrónico de la evolución del paisaje efectuado (Figura 2) ha llevado a la

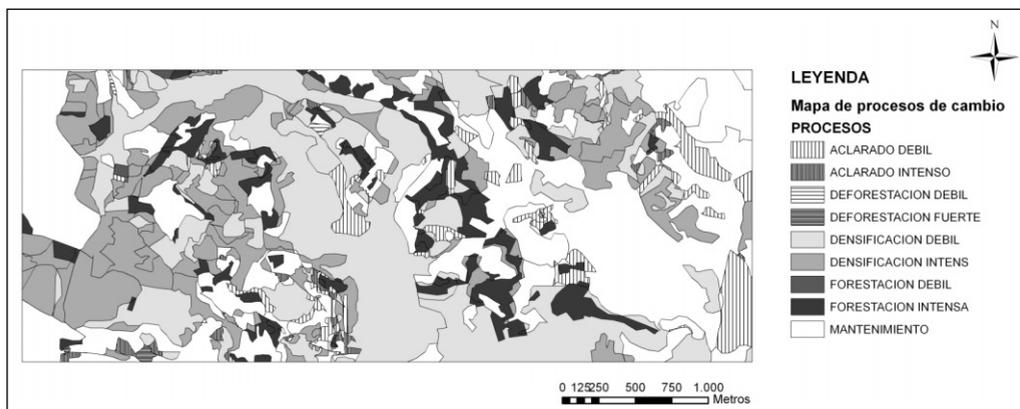


Figura 2. Mapa de procesos de cambio y evolución en el área de estudio para el periodo 1956-1999

obtención de una matriz de cambios que indica que el proceso con mayor extensión es el de densificación, ocupando casi un 50% de la superficie, seguido del de mantenimiento cercano al 35%. Los procesos de forestación apenas alcanzan el 10% mientras que los de aclarado y deforestación se sitúan entorno al 5%. En consecuencia, la evolución positiva se produce en casi un 60% de la superficie, la neutra en un 35% y la negativa en poco más del 5%.

Por otro lado, la variabilidad observada de las tasas humedad edáfica a lo largo del año han llevado a diferenciar dos espacios temporales: el periodo húmedo, que abarca los meses comprendidos entre noviembre y mayo, en el que las tasas de humedad alcanzan un valor medio del 10%, y el periodo seco, que va desde junio a octubre, con valores medios sensiblemente más bajos, cercanos al 4%.

En relación con la posición topográfica de la localización, la tabla 1 recoge los estadísticos descriptivos de la tasa de humedad para las distintas posiciones fisiográficas en las que se ubican las localizaciones de seguimiento, en los dos periodos de observación establecidos. Como era de esperar, los valores medios más altos se presentan en las localizaciones con ligera depresión, al acudir a ellas el agua gravitacional que entra por precipitación. En esta situación, el rango máximo de variación es el más marcado a lo largo de los dos periodos identificados, situándose sobre el 17% en el

período invierno-primavera. En las otras localizaciones, el comportamiento es más homogéneo, con un rango máximo próximo a 10% en el periodo de invierno-primavera y 6% en el periodo verano-otoño.

El análisis de varianza realizado corrobora estadísticamente que los factores posición fisiográfica (PF) y período del año (PA), generan respuestas claramente desiguales en la tasa de humedad del suelo. Las diferencias para cada factor y la interacción entre ambos resultan significativas (para un nivel de 0,05) y el modelo asociado explica el 55,7% de la varianza de la humedad edáfica observada. Los resultados del Test de Comparación Múltiple de Scheffe muestran la patente diferencia, para los dos periodos temporales considerados, de las localizaciones en depresión ligera respecto al resto de posiciones fisiográficas (Figura 3).

Finalmente, los resultados del análisis conjunto de la tipología de evolución del paisaje y las distintas posiciones fisiográficas (Tabla 2), destacan que dentro de la evolución positiva, un 46% se sitúa en cimas de dunas y medias laderas, apareciendo con más frecuencia de la esperada, a pesar de tener una humedad edáfica baja. Con respecto a las zonas de ligera depresión, donde existe una mayor disponibilidad hídrica, cabe destacar que se han producido más evoluciones neutras de las esperadas, ocupando un 36% de la superficie y menos evoluciones positivas de las que se podían suponer.

Período del Año	Posición Fisiográfica	Media	Desviación típica	Máximo	Mínimo	N
Invierno – Primavera	Depresión ligera	12,504	4,787	22,6	5,0	84
	Llanura	8,125	2,172	14,0	4,3	63
	Media Ladera	7,676	3,413	15,1	2,5	42
	Cima de duna	7,357	1,468	10,1	3,6	42
Verano - Otoño	Depresión ligera	4,953	2,102	10,2	1,2	60
	Llanura	3,364	1,681	6,7	0,1	45
	Media Ladera	3,683	1,277	7,2	2,1	30
	Cima de duna	3,717	1,702	6,7	1,0	30
Anual	Depresión ligera	9,358	5,392	22,6	1,2	144
	Llanura	6,142	3,075	14,0	0,1	108
	Media Ladera	6,012	3,365	15,1	2,1	72
	Cima de duna	5,840	2,386	10,1	1,0	72

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la Tasa de Humedad (%) del suelo por posición fisiográfica y período del año

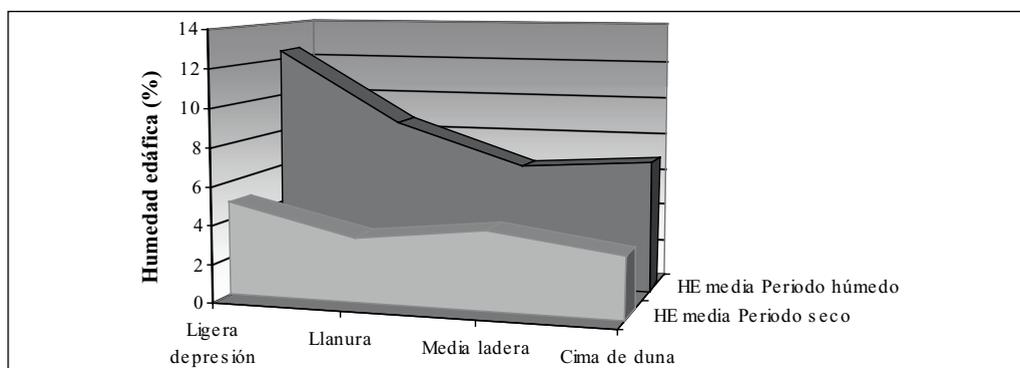


Figura 3. Variación de la Humedad Edáfica media en las distintas Posiciones Fisiográficas para los Periodos Seco y Húmedo

		Ligera Depresión	Llanura	Cima De Duna Y Ladera
Evolución Negativa	Superficie observada/esperada (ha)	4,78/4,62	24,16/19,61	12,01/16,77
	Porcentaje total (%)	0,68	3,26	1,63
Evolución Neutra	Superficie observada/esperada (ha)	30,49/26,64	128,81/113,83	78,98/97,33
	Porcentaje total (%)	4,08	17,53	10,73
Evolución Positiva	Superficie observada/esperada (ha)	47,68/51,54	199,16/218,57	209,82/186,99
	Porcentaje total (%)	6,52	27,04	28,53

Tabla 2. Tabla de contingencia para las variables Evolución y Posición fisiográfica

DISCUSIÓN

En base a las relaciones de dependencia que los resultados muestran entre la posición fisiográfica y el estado hídrico de los suelos en el área de estudio, se establece un gradiente de variabilidad especial que permite identificar distintas condiciones ecológicas, las cuales, y de acuerdo con THOMPSON & MOORE (1996), BELDRIG *et al.* (1999) y WINTER (2001), han condicionado la evolución observada en el paisaje de este territorio para el período comprendido entre los años 1956 y 1999.

Las dos situaciones extremas de este gradiente responden a las siguientes características:

- Las zonas más elevadas, que se corresponden con las cimas de dunas o llanuras sobre-elevadas, donde el nivel freático se sitúa a una profundidad suficientemente alejada de los sistemas radicales de la vegetación. Si a esto se une que el drenaje del agua de precipitación, único aporte hídrico, es rápido,

provocando un lavado efectivo de las sustancias y materiales liberados en los horizontes superiores del suelo, el resultado son condiciones de fertilidad muy escasa con elevado déficit hídrico, especialmente en los meses estivales -período seco- (GÓMEZ SANZ Y GARCÍA VIÑAS, 2006). Consecuentemente, estas son áreas con limitaciones importantes para el desarrollo de cubiertas forestales densas y una muy deficiente productividad agroforestal. La escasa rentabilidad que ofrecen ha llevado a un uso extensivo de estos territorios lo que ha dirigido, tras la disminución significativa de la carga ganadera en las últimas décadas, a una evolución positiva asociada a la densificación de las cubiertas de pino resinero.

- Por otro lado, las zonas que se presentan deprimidas respecto al entorno más próximo funcionan de manera sustancialmente opuesta. La profundidad de suelo no saturado de agua tiende a ser más escasa, por lo que sus

disponibilidades hídricas son mayores, lo que básicamente coincide con lo expresado por NIELSEN & PERROCHET (2000) o RONEN et al. (2000). Estas áreas funcionan como zonas de reunión del agua, por escorrentía tanto superficial como subsuperficial, que lleva a la acumulación de sustancias y partículas de valor nutritivo. Este proceso, unido a un menor déficit hídrico, convierte estas zonas en localizaciones de mejor calidad de estación para el desarrollo de cubiertas arbóreas densas o para la instalación de cultivos agrícolas. Estas circunstancias ha aportado cierta estabilidad al paisaje, dominando los procesos de mantenimiento (cambios neutros), que afectan a las áreas de cultivo agrícola dada la elevada productividad que ofrecen. No obstante, también se observan cambios positivos, caracterizados por la sustitución de cultivos por repoblaciones de carácter productor de pino resinero, lo cual supone un cambio de un uso agrícola intensivo a otros de carácter forestal productor

CONCLUSIONES

El conjunto de los resultados obtenidos lleva a identificar relaciones de dependencia significativas entre las tasas de humedad del suelo, la posición fisiográfica y los cambios acontecidos en el paisaje para el total del área de estudio.

Dentro de la morfología dunar característica del territorio, son las áreas en ligera depresión las que muestran tasas de humedad edáfica sensiblemente mayores, alcanzando valores medios anuales superiores al 10%. Los cambios dominantes en estas zonas son los neutros, debido al mantenimiento del Tipo de Uso y/o Cubierta del Suelo, como resultado de la persistencia de cultivos por su alta rentabilidad. A pesar de ello, altas tasas de humedad en el suelo indican mayor disponibilidad hídrica para la vegetación y en consecuencia favorecen las evoluciones positivas. Esta circunstancia explica que se hayan realizado repoblaciones de tipo productor aprovechando la alta disponibilidad hídrica.

En el resto de las posiciones fisiográficas, donde el valor medio de las tasas de humedad en el suelo está entorno al 6%, no existen diferen-

cias significativas ni en cuanto al comportamiento de la humedad en el suelo ni en la evolución sufrida. Predominan en ellas las evoluciones positivas, debidas tanto al cambio de uso del suelo de agrícola a forestal en zonas de escasa rentabilidad, como a la densificación de la masa forestal, resultado del abandono de su uso preferente de producción de resina y de la reducción de la intensidad del uso ganadero.

En consecuencia, la humedad edáfica ha resultado ser un notable factor determinante en la dinámica del paisaje, dado que condiciona la disponibilidad hídrica en el suelo, tanto para la vegetación como para el uso del suelo que el ser humano hace de él.

BIBLIOGRAFÍA

- BARNES, B.V.; ZAK, D.R.; DENTON, S.R. & SPURR, S.H.; 1998. *Forest Ecology* (4th Edition). John Wiley and Sons, Inc. New York.
- BELDRING, S.; GOTTSCHALK, L.; SEIBERT, J. & TALLAKSEN, L.M.; 1999. Distribution of soil moisture and groundwater levels at patch and catchments scales. *Agricul. Forest Meteor.* 98-99: 305-324.
- BÜRGI, M.; HERSPERGER, A. & SCHNEEBERGER, N.; 2004. Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecology* 19: 857-868.
- CHEN, X. & HU, Q.; 2004. Groundwater influences on soil moisture and surface evaporation. *J. Hydrology* 297: 285-300.
- ELENA ROSSELLÓ, R.; 2003. *Informe Final del Convenio Análisis de la Dinámica espacial y temporal de los Paisajes Rurales Españoles*. DGCONA – UPM. Madrid.
- EVETT, S.R.; 2000. Energy and Water Balances at Soil-Plant-Atmosphere Interfaces. In: M.E. Sumner (ed.), *Handbook of Soil Science*: A129 - A182. CRC Press. New York.
- GARCÍA DEL BARRIO, J.M.; BOLAÑOS, F. Y ELENA-ROSSELLÓ, R.; 2003. Clasificación de los paisajes rurales españoles según su composición espectral. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 12(3): 5-17.
- GÓMEZ SANZ, V. & GARCÍA VIÑAS, J.I.; 2006. Land use change impact on soil moisture in sandy flatlands of central Spain. In: J.A.

- Martinez-Cassasnovas et al. (eds), *Proceedings of the International ESSC Conference on "Soil and Water Conservation under Changing Land Use"*: 63-67. Universitat de Lleida. Lleida.
- NIELSEN, P. & PERROCHET P.; 2000. Water table dynamics under capillary fringes: experiments and modelling. *Adv. Water Res.* 23: 503-515.
- PAUL, K.I.; POLGLASE, P.J.; O'CONNELL, A.M.; CARLYLE, J.C.; SMETHURST, P.J.; KHANNA, P.K. & WORLEDGE, D.; 2003. Soil water under forests (SWUF): a model of water flow and soil water content under a range of forest types. *Forest Ecol. Manage.* 182: 195-211.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I. & PORPORATO, A.; 2004. *Ecohydrology of Water-Controlled Ecosystems. Soil Moisture and Plant Dynamics*. Cambridge University Press. New York.
- RONEN, D.; SCHER, H. & BLUNT, M.; 2000. Field observations of a capillary fringe before and after a rainy season. *J. Contaminant Hydrology* 44: 103-118.
- THOMPSON, J.C. & MOORE, R.D.; 1996. Relations between topography and water table depth in shallow forest soil. *Hydrological Processes* 10: 1513-1525.
- WINTER, T.C.; 2001. The concept of hydrological landscapes. *J. American Water Res. Assoc.* 37(2): 335-349.