



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-022

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Relaciones entre suelos y vegetación: análisis de dependencia estadística entre horizontes de diagnóstico y tipos de cobertura vegetal en el Principado de Asturias.

RODRÍGUEZ-RASTRERO, M.¹, YUNTA MEZQUITA, F.², ORTEGA MARTOS, A.³; CUEVAS RODRÍGUEZ, J.³.
GUMUZZIO FERNÁNDEZ, J.³.

¹ Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

² Departamento de Química Agrícola y Bromatología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid

³ Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

Los dos sistemas de clasificación de suelos más extensamente empleados, *WRB-FAO* y *Soil Taxonomy*, presentan diferencias en sus unidades taxonómicas que dificultan la aplicación de la información edafológica, en especial la cartográfica. Los horizontes de diagnóstico, no obstante, constituyen un concepto básico compartido por ambos sistemas, muestran, en gran parte, definiciones comunes para los distintos tipos de horizontes, y son susceptibles de representación cartográfica mediante el análisis de sus relaciones con distintos factores ambientales, tales como la cobertura vegetal. Este trabajo se basa en el análisis de relaciones de dependencia estadística entre horizontes de diagnóstico y tipos de cobertura vegetal. Dicho análisis se llevó a cabo sobre una base de un total de 442 perfiles edáficos caracterizados dentro de diversos proyectos cartográficos promovidos por el Gobierno de Asturias, de los cuales, 190 corresponden a usos forestales; sobre ellos, se han determinado relaciones de dependencia estadísticamente significativas, relativas por una parte, a la elevada frecuencia del horizonte superficial úmbrico y de perfiles sin horizontes subsuperficiales, y por otra, a la baja frecuencia de perfiles con horizonte superficial ócrico y con horizonte subsuperficial cámbico. Tales relaciones segregan de forma significativa los perfiles obtenidos bajo uso forestal, de los perfiles bajo usos agrícolas o ganaderos.

Palabras clave

Caracterización de suelos forestales, factor formador vegetación, horizontes edáficos.

1. Introducción

El papel de la vegetación como factor formador de los suelos, ha sido reconocido desde los inicios de la Edafología (UGOLINI y EDMONDS, 1983; BOCKHEIM, 2005). La cubierta vegetal es determinante, como "factor formador activo", de algunas de las principales características de los suelos (FANNING y FANNING, 1989), y diferentes tipos de cubierta determinan, en alguna medida, tipos diferentes de suelos. La evolución edáfica favorece el desarrollo de la cubierta vegetal; así, suelos y vegetación tienden a co-evolucionar, existiendo asimismo el mecanismo inverso, o co-regresión (PHILLIPS, 1993). La vegetación, por otra parte, constituye el único elemento del medio biótico susceptible de ser cartografiado a niveles o escalas equiparables a las de otros factores ambientales, y es el más fácilmente reconocible a través de trabajos de campo o detección remota (RODRÍGUEZ-RASTRERO, 2016).

El ámbito geográfico de este estudio, el Principado de Asturias, presenta unas características fisiográficas que determinan una amplia variedad de formaciones vegetales, siendo por tanto adecuado para evaluar el grado de influencia del factor vegetación en los procesos edafogénicos.

El clima se caracteriza por temperaturas moderadas, con la excepción de las cotas más altas, y elevada humedad, que permiten el desarrollo vegetal durante la mayor parte del año. Determinadas condiciones locales conllevan variaciones en este esquema general; se trata de condiciones edáficas (acidez, rocosidad, salinidad, granulometría), climáticas (valles con abrigo orográfico y menores precipitaciones, laderas expuestas a barlovento con mayores precipitaciones) y/o de drenaje (excesivo en zonas pedregosas y/o de mayor pendiente; deficiente en depresiones). Las formaciones vegetales de Asturias han sido descritas por diversos autores (DÍAZ y FERNÁNDEZ, 1987; LASTRA, 2001; DÍAZ-GONZÁLEZ, 2010) y cartografiadas a escala 1:25.000 (INDUROT, 2001). Eucaliptos (principalmente *Eucalyptus globulus*), y en menor medida, pinos (fundamentalmente *Pinus pinaster* y *P. radiata*), constituyen las principales plantaciones forestales en el Principado.

En el ámbito atlántico español, la densa cobertura vegetal se asocia, con carácter general, a una importante incorporación de materia orgánica en los suelos, factor clave en su génesis (CARBALLAS *et al.*, 2015). Numerosos autores han contrastado los efectos de las diferentes comunidades vegetales en las propiedades del suelo, siendo el ejemplo más comúnmente utilizado el de distintos usos forestales (CALVO DE ANTA *et al.*, 1979; CALVO DE ANTA y DÍAZ-FIERROS, 1981; DUCHAUFOR Y SOUCHIER, 1984), así como el uso forestal frente al herbáceo (UGOLINI y EDMONDS, 1983). El aporte de restos orgánicos, en función del tipo de cubierta vegetal, es notablemente diferente: como ejemplo, ÁLVAREZ y DÍAZ-FIERROS (1995) indican aportes anuales de 0.1 kg/m² en suelos bajo prado, frente a 0.6 kg/m² en eucaliptales.

El concepto de suelo forestal incluye a aquellos suelos que, en el momento actual, desarrollan dicho tipo de cubierta vegetal, si bien, en un sentido más amplio, pueden considerarse como suelos forestales aquellos que, independientemente del uso actual, fueron originados bajo la influencia de dicha cubierta y que muestran diferencias acusadas con respecto a los suelos agrícolas: en especial, la conservación de los horizontes superficiales, y la ausencia de *inputs* derivados de riego o fertilización (BINKLEY y FISHER, 2013). No obstante, definir con precisión las condiciones en las que se originaron los suelos, plantea serias dificultades; por ello, JENNY (1980) consideró que el factor formador biótico habría de ser entendido como "la vegetación actualmente existente en el lugar objeto de estudio".

Establecer relaciones o asociaciones objetivas entre tipos de suelo y tipos de cobertura vegetal, permite por tanto profundizar en un conocimiento integrado de ambos elementos ambientales. En este sentido, uno de los criterios principales para la definición y delimitación de unidades cartográficas de suelos en recintos o polígonos cerrados, dentro de un determinado ámbito geográfico, es la distinta tipología de la cobertura vegetal (PORTA y LÓPEZ-ACEVEDO, 2005).

Cada una de las unidades cartográficas está constituida, a su vez, por uno o varios tipos de suelos. Los sistemas de clasificación de suelos con más amplia difusión, *WRB-FAO* (*IUSS WORKING GROUP*, 2014) y *Soil Taxonomy* (*SOIL SURVEY STAFF*, 2014), se basan en el desarrollo de un sistema jerárquico que define los distintos tipos de suelos según diferentes niveles de unidades taxonómicas. Ambos sistemas, sin embargo, presentan entre sí notables diferencias en los criterios establecidos para definir y nombrar dichas unidades. Ello dificulta tanto la interpretación como la aplicación de la información edafológica a otros ámbitos de estudio del medio natural, y en especial la información contenida en los mapas de suelos.

Sin embargo, los dos sistemas poseen un concepto común: los denominados "horizontes de diagnóstico", base de la clasificación de los suelos en distintos niveles jerárquicos. Los horizontes de diagnóstico delimitan distintas capas del perfil edáfico según determinados rangos de valores cuantitativos, correspondientes a parámetros morfológicos, químicos y físicos. Los valores que definen a los horizontes de diagnóstico se basan en observaciones de campo y análisis de laboratorio, realizados sobre muestras obtenidas a partir de un determinado perfil edáfico, y constituyen combinaciones de atributos asociadas a los procesos edafogenéticos.

Las similitudes entre *WRB-FAO* y *Soil Taxonomy* se refieren, especialmente, a horizontes de diagnóstico muy frecuentes en ámbitos templado-húmedos (BOCKHEIM, 2014). En concreto, se trata de los denominados "hístico", "mólico", o "úmbrico", entre los que se presentan en la superficie del perfil, y "argílico", "cámbico" o "espódico", entre los subsuperficiales (*IUSS WORKING GROUP*, 2014; *SOIL SURVEY STAFF*, 2014). No obstante, son evidentes algunas diferencias, como las correspondientes al concepto del horizonte superficial "ócrico".

Dado que las definiciones de los horizontes de diagnósticos contienen información cuantitativa, y sintética sobre diferentes propiedades que reflejan los procesos edafogenéticos, puede considerarse que responden a un concepto de "suelo" de forma similar a los taxones con las ventajas de su menor número y complejidad en la definición (RODRÍGUEZ-RASTRERO, 2016). Ello facilita el establecer relaciones cuantitativas, con base estadística, entre suelos y factores formadores que, en cualquier caso, son compatibles con un posterior desarrollo con la base de unidades taxonómicas.

2. Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo básico constatar la relación entre la presencia de un determinado horizonte de diagnóstico y la tipología de cubierta vegetal existente en un punto de muestreo determinado, constituido por un perfil edáfico y su entorno inmediato. Por otra parte, se pretende aportar algunos elementos objetivos a la definición de "suelo forestal" en el contexto geográfico objeto de estudio, estableciendo qué tipología de horizontes de diagnóstico se presenta con una frecuencia significativamente mayor o menor en los suelos asociados a este tipo de uso, comparativamente con los usos agrícolas y ganaderos de mayor exigencia edáfica.

Metodología

Este trabajo se basa en el análisis de relaciones de dependencia estadística entre tipos de suelos y tipos de cobertura vegetal. Dicho análisis se llevó a cabo sobre una base de 442 puntos de muestreo, en cada uno de los cuales ha sido realizado un perfil edáfico y la observación directa de la tipología de la cubierta vegetal. Los trabajos de campo y caracterización físicoquímica de suelos, determinantes para la asignación de horizontes de diagnóstico, fueron llevados en el marco de diversos proyectos cartográficos desarrollados en el Principado de Asturias entre los años 2001 y 2012 (GOBIERNO DE ASTURIAS, inéd.). A efectos de simplificación en el tratamiento estadístico, en el presente trabajo se emplearán las definiciones correspondientes al sistema de clasificación *Soil Taxonomy* (*SOIL SURVEY STAFF*, 2014).

La distribución territorial de los puntos de muestreo se presenta seguidamente (Figura 1).

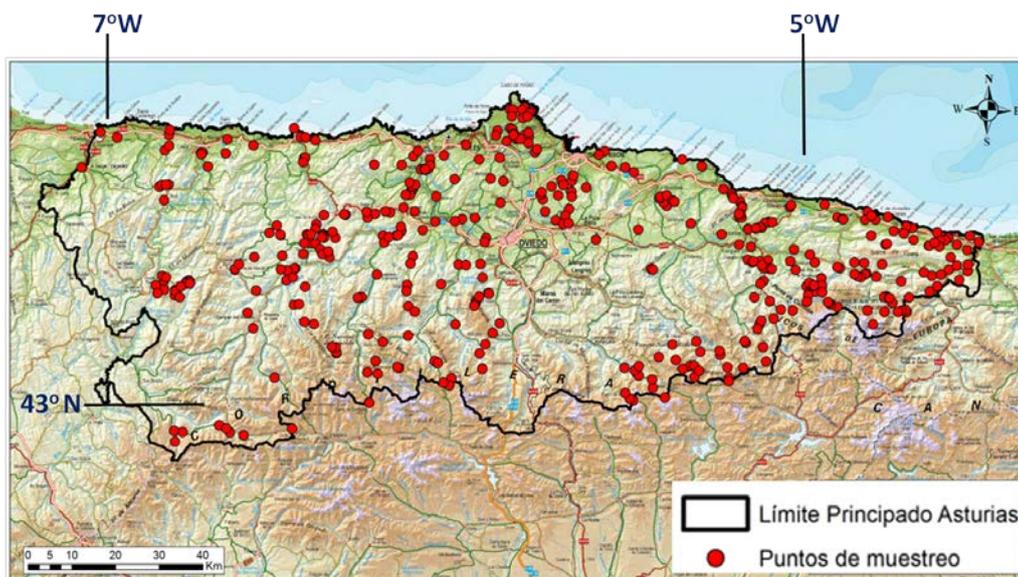


Figura 1. Situación de puntos de muestreo de suelos y cubierta vegetal en el Principado de Asturias.

Con la excepción de los suelos sometidos a laboreo (categoría "agrícola / cultivo forrajero"), cabe destacar que la cobertura vegetal en cada uno de los puntos de muestreo puede considerarse total, por lo que posibles variables como la densidad de dicha cubierta, no han sido desarrolladas en este análisis.

En el territorio de Asturias han sido descritos 9 tipos de horizontes de diagnóstico (RODRÍGUEZ-RASTRERO, 2016), con sus características básicas y algunos aspectos significativos para este estudio (SOIL SURVEY STAFF, 2014):

Horizontes superficiales:

hístico: horizonte orgánico, constituido por fibras vegetales en diferentes grados de alteración; se asocia característicamente a vegetación de humedal (turberas de *Sphagnum sp.*, vegetación higrófitas y otros) (FANNING y FANNING, 1989). A efectos del presente estudio, se consideran, en conjunto horizontes "orgánicos" a los definidos como hístico y a los suelos orgánicos (turberas).

mólico: horizonte mineral, espeso, friable, oscuro (rico en humus), con alta saturación en bases (reacción neutra o básica); habitualmente asociados a vegetación herbácea y forestal; en general con elevada actividad biológica (bioturbación) (BOCKHEIM, 2014).

úmbrico: horizonte mineral, espeso, friable, oscuro, con baja saturación en bases (reacción ácida a fuertemente ácida).

ócrico: horizonte mineral, diferenciado de *mólico* o *úmbrico* por ser más somero, claro, masivo o muy duro, o una combinación de las anteriores, siendo frecuentemente más pobre en materia orgánica.

Horizontes subsuperficiales

álbico: Horizonte de lavado o eluvial, en el que la arcilla y los óxidos de Fe libres han sido lavados, en tal grado, que su color está determinado por el de las partículas minerales.

argílico: Horizonte de acumulación o iluvial, enriquecido en arcilla procedente del lavado de horizontes superiores (eluviales).

cálcico: Horizonte iluvial, de acumulación de carbonato cálcico.

cámbico: Horizonte con evidencias de una leve alteración físicoquímica, que excluye rasgos diagnósticos de otros horizontes, y que se manifiesta generalmente en la presencia mayoritaria de estructura edáfica.

espódico: Horizonte iluvial, de acumulación de compuestos amorfos (complejos de materia orgánica y Al, y, comúnmente, Fe).

Las observaciones realizadas en el entorno inmediato de cada uno de los perfiles edáficos estudiados, en relación con la cobertura vegetal, han sido categorizadas de acuerdo con la siguiente tipología de usos:

agrícola / cultivo forrajero: comprende suelos laboreados de forma regular, aprovechados como cultivos hortícolas de diversa tipología y/o como cultivos forrajeros monofitos (FERRER *et al.*, 2001), éstos últimos se aprovechan fundamentalmente por siega para consumo directo o como forraje conservado; ocasionalmente, incluyen eriales a pastos.

pradera: se trata de cultivos polifitos sembrados, constituidos fundamentalmente por una mezcla de gramíneas y leguminosas, que puede ser aprovechado por siega o pastoreo de forma indistinta (FERRER *et al.*, 2001); en general admiten pastoreo y/o siega, en función de que la pendiente del terreno sea o no superior al 14%, lo que determina la capacidad de mecanización (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2014).

prado-pastizal: comprende comunidades herbáceas espontáneas de densidad variable; en el caso de los prados, se trata de comunidades siempre verdes, aprovechadas por siega o pastoreo indistintamente, pudiendo presentar cierto agostamiento en verano; en el caso de los pastizales, se trata de comunidades naturales aprovechadas a diente y dominadas, en general, por especies bastas que se agostan en verano (FERRER *et al.*, 2001).

arbolado natural: corresponde a formaciones boscosas maduras y densas, constituidas en su mayor parte por hayedos, robledales y bosques mixtos atlánticos de acuerdo con la tipología establecida por BLANCO *et al.* (2005).

eucaliptar: constituida por plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* (ORTEGA *et al.*, 2011).

pinar de repoblación: constituida por plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *P. sylvestris* (ORTEGA *et al.*, 2011).

matorral: formaciones arbustivas con altura aproximadamente homogénea y menor de 2 m (FERRER *et al.*, 2001), incluyendo formaciones como escobonales (*Cytisetea scopario-striati*), brezales y tojales (*Calluno-Ulicetalia*), brezales alpinos, o helechales con *Pteridium aquilinum*.

mixto pastizal-matorral: representa a zonas de transición entre ambas tipologías, e Incluye así mismo a los denominados "pastos de puerto" (FERRER *et al.*, 2001), aprovechados por pastoreo extensivo y ubicados en los pisos alpino, subalpino y montano, en los que es frecuente la presencia de formaciones arbustivas.

Sobre el total de 442 puntos de muestreo, ha sido llevada a cabo la asignación de horizontes de diagnóstico (perfiles edáficos) y tipos de cubierta vegetal (entorno inmediato del perfil). Los porcentajes obtenidos se muestran en el apartado 4 de este documento. Los perfiles edáficos situados en puntos calificados en las categorías de *arbolado natural*, *eucaliptar*, *pinar de repoblación*, *matorral* y *mixto pastizal-matorral*, son 190 en total y se han considerado como representativos de suelos forestales.

Los horizontes de diagnóstico y los tipos de cobertura vegetal, cuyas categorías han sido anteriormente descritas, corresponden a variables cualitativas, o categóricas nominales, por lo que se ha realizado un análisis de la dependencia estadística entre ambas mediante la prueba de Chi-cuadrado de Pearson, para un grado de significación de $p > 0.05$. Posteriormente, la existencia o no de algún tipo de relación de dependencia entre las categorías de las dos variables, ha sido analizada mediante su distribución conjunta a través de las denominadas tablas cruzadas o "de contingencia", basadas en la significación de las diferencias entre los recuentos de casos (frecuencias) teóricas o esperadas y las realmente obtenidas, para cada cruce entre categorías. Los resultados de las tablas

de contingencia indican entre qué cruces, de entre todos los posibles, se produce la relación de dependencia.

3. Resultados

La tipología y frecuencia relativa de los horizontes de diagnóstico observados (superficiales y subsuperficiales) en el conjunto de los 442 perfiles edáficos estudiados, se refleja seguidamente (Figuras 2 y 3).

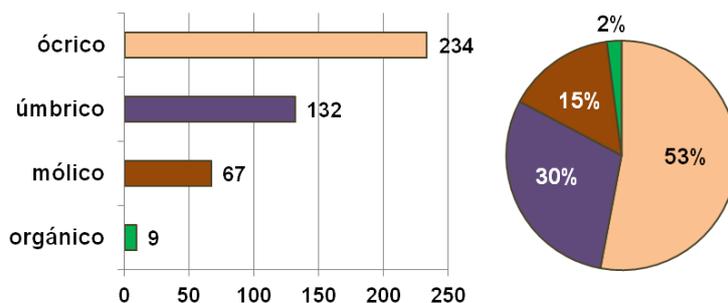


Figura 2. Número de casos y porcentaje de las distintas categorías de la variable "horizontes de diagnóstico", en referencia a horizontes de diagnóstico superficiales.

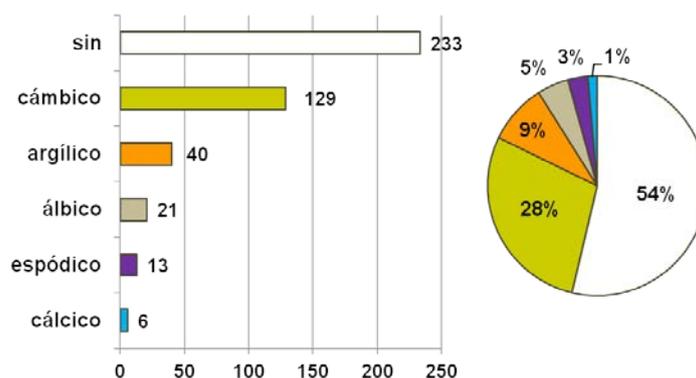


Figura 3. Número de casos y porcentaje de las distintas categorías de la variable "horizontes de diagnóstico", en referencia a los horizontes subsuperficiales.

La presencia de un horizonte de diagnóstico superficial caracteriza a la totalidad de los perfiles estudiados, en tanto que más de la mitad (54%) de éstos carecen de horizonte de diagnóstico subsuperficial, lo que pone de manifiesto la importancia de los suelos que muestran limitaciones al desarrollo edáfico (RODRÍGUEZ-RASTRERO, 2016). La presencia de un único horizonte úmbrico, de la combinación de ócrico y cámbico, y de un único horizonte ócrico, constituyen las tipologías más frecuentes de perfiles edáficos, representando algo menos de la mitad de los casos (45%). Los 9 perfiles indicados con horizonte orgánico se refieren, bien a suelos con horizontes de diagnóstico *hístico*, o bien a suelos orgánicos.

Sobre la totalidad de los 442 puntos de muestreo, y de acuerdo con la tipología de cubiertas vegetales descrita anteriormente, la figura adjunta muestra las frecuencias obtenidas (Figura 4).

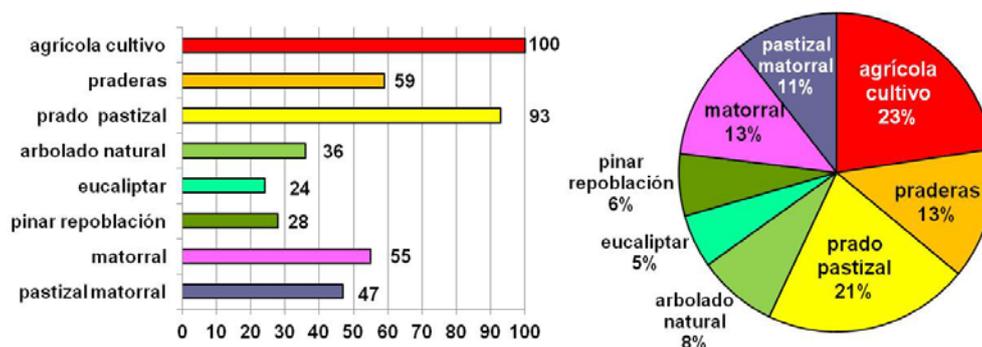


Figura 4. Número de casos y porcentaje de las distintas categorías de la variable "tipos de cubierta vegetal".

Los resultados del análisis de dependencia entre las variables "horizontes de diagnóstico" y "tipos de cobertura", mediante la prueba de *Chi-cuadrado*, indican en ambos casos, la existencia de relaciones de dependencia al nivel de variable ($p < 0.000$). Los resultados obtenidos en el análisis de dependencia al nivel de categoría dentro de ambas variables, se describen seguidamente. Las figuras que representan dicho análisis (Figuras 5 y 6) reflejan, mediante diagramas de barras, el porcentaje de coincidencias entre los pares de categorías correspondientes a las dos variables analizadas. De todos los porcentajes resultantes, se han destacado, mediante círculo rojo, aquellos en los que el valor de p es inferior a 0.05. Seguidamente se muestran los porcentajes de coincidencias de cada horizonte de diagnóstico superficial con cada tipo de cubierta vegetal (Figura 5).

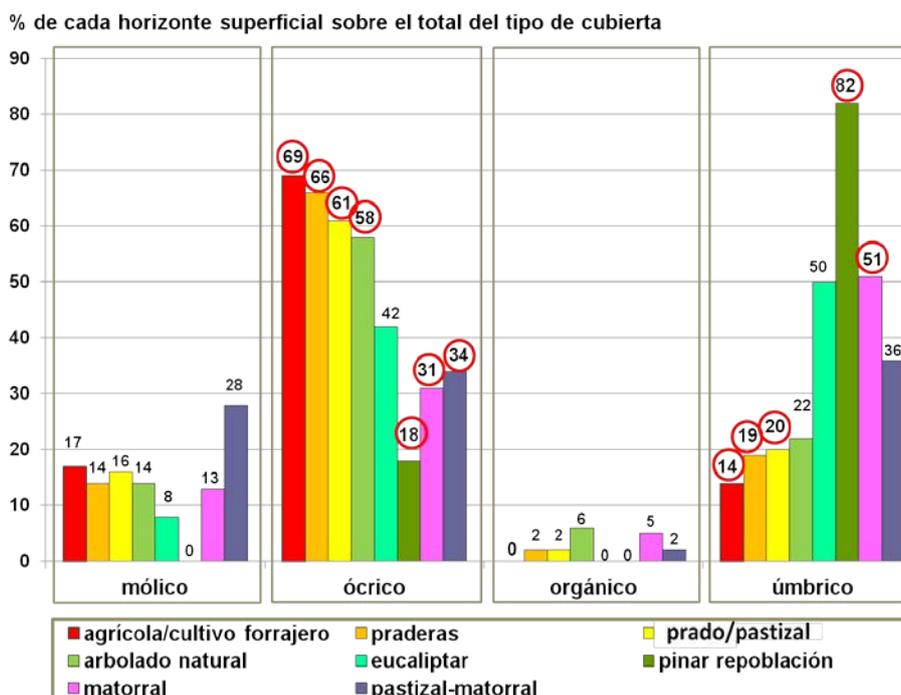


Figura 5. Resultados del análisis mediante tablas de contingencia: porcentaje de coincidencias de cada horizonte de diagnóstico superficial con cada tipo de cubierta.

El horizonte de diagnóstico "mólico" y los horizontes orgánicos carecen de relaciones significativas con alguna de las categorías del tipo de cubierta vegetal. El horizonte "órico" se presenta en el 69 y el 66% de los perfiles asociados a los tipos de cobertura "agrícola/cultivo forrajero" y "praderas", así como en el 61 y 58% de los perfiles bajo pastizales y "arbolado natural",

respectivamente, porcentajes que prevalecen significativamente sobre los de los suelos forestales desarrollados bajo las categorías de "pinar de repoblación" (18%), "matorral" (31%) y "mixto pastizal-matorral" (34%). En el caso del horizonte "úmbrico", cuyo comportamiento a grandes rasgos es opuesto al del "ócrico", el 82% de los pinares de repoblación se encuentran sobre suelos con ese tipo de horizonte, así como el 51% de los perfiles bajo matorral, estableciendo diferencias significativas con la frecuencia del úmbrico en los suelos bajo uso agrícola (14%), praderas (19%) y pastizales (20%). El tipo de cubierta "eucaliptar", no ha mostrado relaciones de dependencia significativas con ninguno de los horizontes de diagnóstico superficiales existentes.

A continuación se muestran los porcentajes de coincidencias de cada horizonte de diagnóstico superficial con cada tipo de cubierta (Figura 6).

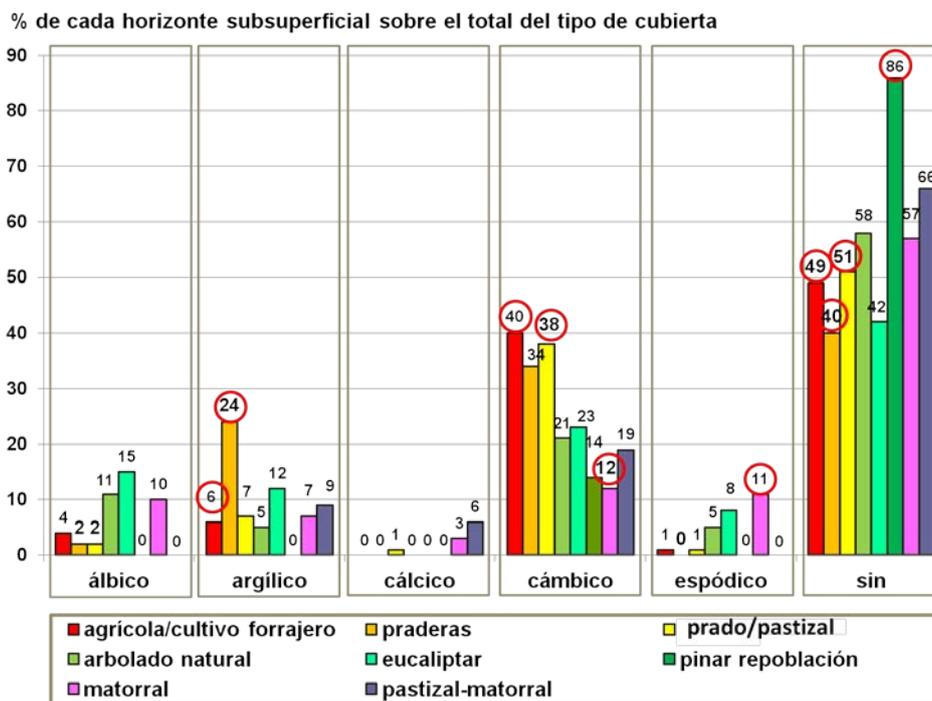


Figura 6. Resultados del análisis mediante tablas de contingencia: porcentaje de coincidencias de cada horizonte de diagnóstico superficial con cada tipo de cubierta.

Los resultados del análisis, recogidos en la figura 6, muestran relaciones significativas entre diversas categorías de tipo de cubierta y los horizontes de diagnóstico argílico y cámbico, así como con la ausencia de horizonte subsuperficial (denominada "sin" en la figura). La prevalencia del horizonte argílico en la categoría "praderas" (un 24% de estos perfiles tienen argílico) es significativamente mayor que en "agrícola/cultivo forrajero" (un 6%). En el caso del horizonte cámbico, su distribución sobre las categorías de "pastizales" y "agrícola/cultivo forrajero" (38 y 40%, respectivamente, de estos perfiles poseen cámbico) es significativamente mayor que sobre matorrales (12%). La ausencia de horizonte subsuperficial (perfiles indicativos de menor desarrollo edáfico) muestra notables relaciones de dependencia con la categoría "pinar de repoblación", de forma que el 86% de los perfiles bajo pinar carecen de él, porcentaje significativamente mayor que los de las categorías de "agrícola/cultivo forrajero", "praderas" y "pastizales", relacionadas con usos agrícolas y ganaderos, con frecuencias de 49%, 40% y 51%, respectivamente. Las categorías de "eucaliptar", "arbolado natural" y "mixto pastizal-matorral", carecen de relaciones estadísticamente significativas con los horizontes subsuperficiales.

4. Discusión

El análisis de dependencia llevado a cabo refleja diferencias significativas entre suelos de uso agrícola-ganadero y suelos forestales, en cuanto a la prevalencia de distintos horizontes en cada tipo general de uso. En la mayor parte de los perfiles bajo uso forestal, la situación más frecuente es la ausencia de cualquier horizonte de diagnóstico subsuperficial, lo que sugiere la asociación entre suelos de desarrollo limitado y dicho uso.

En este sentido, los perfiles obtenidos bajo pinares y matorrales, muestran significativamente un predominio del horizonte superficial "úmbrico", unido a la ausencia de cualquier horizonte subsuperficial, lo que también se manifiesta, aunque en menor medida, en las formaciones mixtas de pastizal y matorral. Las condiciones de acidez características del horizonte úmbrico y el escaso desarrollo del perfil, favorecen la asociación de estos suelos con usos menos exigentes en fertilidad. BOCKHEIM (2014), señala la presencia de vegetación herbácea, formaciones de coníferas y matorrales acidófilos de montaña, como factores favorables al desarrollo del horizonte úmbrico; formaciones de diversas especies arbóreas, influyen en la distinta acidificación del horizonte superficial (ÁLVAREZ *et al.*, 1992). Si bien no es estadísticamente significativa por el bajo número relativo de casos, cabe señalar la ausencia de la categoría "pinar de repoblación" en suelos con epipedión mólico.

La prevalencia del horizonte ócrico en perfiles obtenidos bajo los usos agrícolas (cultivos y praderas), puede asociarse a la degradación de horizontes mólicos hacia ócricos por pérdida de materia orgánica y/o espesor, si bien, en general, la intensa actividad biológica favorece el rápido *turnover* de la materia orgánica y el desarrollo del epipedión ócrico (BOCKHEIM, 2014).

La baja presencia de horizontes argílicos en suelos de elevada vocación agrícola se relaciona con el carácter deposicional reciente de gran parte de dichos suelos (mayoritariamente sedimentos aluviales de pendiente nula o muy suave). La actividad agrícola, en general, es desfavorable por incremento de la erosión y mezcla de horizontes por laboreo. Los prados de siega, sin embargo, se asocian con frecuencia a superficies de pendiente suave a moderada, geomorfológicamente estables, donde las condiciones para el desarrollo de horizontes argílicos suelen verse favorecidas.

Cabe resaltar la ausencia de relaciones significativas de dependencia entre el horizonte superficial mólico y cualquiera de las categorías de la variable analizada, si bien ha de tenerse en cuenta el bajo número relativo de casos frente a un total de 8 diferentes categorías de cubierta, lo que aún es más evidente en el caso de los horizontes orgánicos. El horizonte mólico es relativamente abundante, por una parte, en perfiles situados en macizos calcáreos, con notable frecuencia asociados a cubiertas mixtas de pastizal-matorral, tal como se refleja en la figura 3, que sin embargo, no llegan a ser estadísticamente significativos; en su mayor parte, dichos suelos se desarrollan en pendientes fuertes, son someros, pedregosos y, con frecuencia, con contacto lítico (SOIL SURVEY STAFF, 2014), lo que limita a los usos agrarios más exigentes (RODRÍGUEZ-RASTRERO, 2016). Por otra parte, el horizonte mólico es relativamente frecuente en perfiles en áreas de vocación agrícola, asignados a las categorías "agrícola/cultivo forrajero" y "praderas", donde son frecuentemente espesos y de escasa pedregosidad. Tales diferencias morfológicas limitan la capacidad para segregar diferentes tipos de cubierta por parte del horizonte de diagnóstico mólico, considerando necesario incrementar el número de casos a estudio.

Entre los suelos forestales, destaca el caso de los asociados a eucaliptares, que se muestran estadísticamente independientes de la tipología de horizontes existente, tanto superficiales como subsuperficiales, en los perfiles edáficos estudiados. Es apreciable en esta categoría no obstante, la tendencia a un comportamiento similar al de los perfiles obtenidos bajo pinar y matorral. Los perfiles incluidos en la categoría "arbolado natural" muestran, como tendencia general, un comportamiento similar al de los perfiles analizados bajo usos agrícolas-ganaderos en relación con los horizontes

superficiales, mientras que es comparable al de los perfiles obtenidos bajo usos netamente forestales, en relación a los horizontes subsuperficiales.

El número de perfiles caracterizados por horizontes subsuperficiales álbico y espódico (frecuentemente asociados en el mismo perfil dentro del Orden *Spodosoles* -SOIL SURVEY STAFF, 2014-), no ha permitido establecer relaciones significativas con cubiertas vegetales específicas con la excepción de los matorrales y el horizonte espódico (figura 4); cabe señalar que el proceso de eluviación en la podsolización se ve favorecido por hojarascas acidificantes, caso de los brezales (DUCHAUFOR y SOUCHIER, 1984). Puede observarse así mismo, una mayor presencia relativa de eucaliptares, y arbolado natural asociada a suelos con tales horizontes. Mención aparte merece la presencia de perfiles con horizonte cálcico, lo que puede considerarse poco frecuente en ambientes templado-húmedos; su escaso número impide establecer relaciones significativas con la tipología de cubiertas vegetales; no obstante, ha sido destacado el papel de la vegetación herbácea densa en suelos con cálcico por el papel clave de las raíces y los microorganismos en la precipitación del CaCO_3 por emisión de CO_2 (BOCKHEIM, 2014; DUCHAUFOR y SOUCHIER, 1984).

En distintos casos, las relaciones de dependencia estudiadas han de explicarse teniendo en cuenta la influencia de otras variables ambientales en las relaciones suelos-vegetación; dicha influencia ha sido analizada de forma preliminar en el ámbito de Asturias (RODRÍGUEZ-RASTRERO, 2016), determinando que la propia cobertura vegetal, junto a variables climáticas como la altitud, o geomorfológicas como el valor y forma de la pendiente, o la situación relativa del perfil, así como la litología, ofrecen elevados grados de interdependencia.

5. Conclusiones

Se han determinado en distintos casos relaciones de dependencia estadísticamente significativas entre tipos de cubierta vegetal y tipos de horizonte de diagnóstico. Tales relaciones segregan los perfiles obtenidos bajo determinados usos forestales, de los perfiles bajo usos agrícolas o ganaderos.

Con carácter general, los suelos forestales muestran un menor grado de desarrollo, entendiendo como tal la prevalencia de perfiles que carecen de cualquier horizonte de diagnóstico subsuperficial. En este sentido, los perfiles obtenidos bajo pinares y matorrales, muestran una prevalencia del horizonte superficial "úmbrico", unido a la ausencia de cualquier horizonte subsuperficial. Por otra parte, las categorías de eucaliptares y arbolado natural, requieren un análisis basado en un mayor número de perfiles que permita definir las tendencias observadas.

Los perfiles estudiados bajo usos agrícola-ganaderos (cultivos y praderas) muestran una prevalencia del horizonte de diagnóstico superficial "ótrico" y del subsuperficial "cámbico".

Así mismo, porcentajes muy elevados de coincidencia entre cruces de categorías, no son destacados como estadísticamente significativos debido al bajo número de casos, tal como sucede en los horizontes orgánicos o los subsuperficiales "álbico", "cálcico" o "espódico", cuyo análisis requeriría de un mayor número de puntos de muestreo.

La metodología desarrollada aporta por tanto algunos elementos precisos para la caracterización de suelos forestales en el territorio de Asturias, que pueden servir de base en otros territorios del ámbito atlántico ibérico o europeo.

La influencia de factores ambientales, caso de la litología o la geomorfología, ha de ser considerada en un posterior análisis de las relaciones suelo-vegetación.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a Ricardo Pérez-Ochoa, del Centro de Cartografía de la Consejería de Infraestructuras y Territorio del Gobierno de Asturias, las facilidades de acceso a la información edafológica básica, y a Javier Rodríguez Alonso, del Departamento de Medio Ambiente del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, su colaboración en la gestión de datos georreferenciados para la elaboración del presente documento.

7. Bibliografía

ÁLVAREZ, M.A., DÍAZ FIERROS, F. (1995). Los Suelos, en *Geología de Asturias*, pp. 173-183. (C. Aramburu y F. Bastida Eds.). Ed. Trea, S.L.

BLANCO, E.; CASADO, M.A.; COSTA, M.; ESCRIBANO, R.; GARCÍA, M.; GÉNOVA, M.; GÓMEZ, A.; GÓMEZ, F.; MORENO, J.C.; MORLA, C.; REGATO, P.; SAÍNZ, H. (2005). Los Bosques Ibéricos. Una interpretación geobotánica. Ed. Planeta, 597 pp., Barcelona.

BINKLEY, D.; FISHER, R.F. (2013). *Ecology and Management of Forest Soils. 4th edition*. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, 362 pp.

BOCKHEIM, J.G., GENNADIYEV, A.N., HAMMER, R.D., Y TANDARICH, J.P. (2005). *Historical development of key concepts in pedology*. *Geoderma* 124, pp. 23-36.

BOCKHEIM, J.G. (2014). *Soil Geography of the USA: A Diagnostic-Horizon Approach*. Springer International Publishing, Ed., 320 pp. Switzerland.

CALVO DE ANTA, R.M. Y DÍAZ-FIERROS, F. (1981). Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona húmeda española a través de la vegetación. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Tomo XL, núms. 3-4. Madrid.

CALVO DE ANTA, R.M., PAZ, A., DÍAZ-FIERROS, F. (1979). Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia (I). *Anales de Edafología y Agrobiología*. Tomo XXXVIII, núms.7-8, Madrid.

CARBALLAS, T., RODRÍGUEZ-RASTRERO, M., ARTIEDA, O., GUMUZZIO, J., DÍAZ-RAVIÑA, M., MARTÍN, A. (2015). *Soils of the Temperate Humid Zone*. pp. 49-144. En: *The Soils of Spain*. J.F. Gallardo (Ed.). *World Soils Book Series*. Springer International Publishing, 197 pp. Switzerland.

DÍAZ-FIERROS, F. (2011). *La Ciencia del Suelo: Historia, Concepto y Método*. Universidade de Santiago de Compostela. Servizo de Publicacions e Intercambio Científico, 175 pp. Santiago de Compostela.

DÍAZ-GONZÁLEZ, T. E., FERNÁNDEZ, J. A. (1987). *La Vegetación de España. 2. Asturias y Cantabria*. Peinado-Lorca. Rivas-Martínez, S., pp. 79-116. Eds. Colección Aula Abierta. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.

DÍAZ-GONZÁLEZ, T. E. (2010). Caracterización de los Hábitats de Interés Comunitario (Red Natura 2000) existentes en el Principado de Asturias. II: Bosques y arbustadas arborescentes. *Bol. Cienc. Nat. R.I.D.E.A.* 51; pp. 213-276.

DUCHAUFOR, P., SOUCHIER, B. (1984). *Edafología. I: Edafogénesis y Clasificación*. (Versión española por Carballas, T. y Carballas, M.) Editorial Masson, 483 pp. Barcelona.

- FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. (1989). *Soil: Morphology, Genesis and Classification*. John Wiley & Sons, 395 pp. New York.
- GOBIERNO DE ASTURIAS. (inéd.) Cartografía Temática Edafológica a escala 1:25.000. Geoportal del Sistema de Información Territorial y la Infraestructura de Datos espaciales del Principado de Asturias www.asturias.org.
- INDUROT (2001). Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio. Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias. Vegetación (92 hojas a escala 1:25 000; 1989-2001).
- IUSS WORKING GROUP WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, 181 pp. Rome.
- JENNY H. (1980). *The Soil Resource, Origin and Behaviour*, Springer-Verlag, 368 pp. New York.
- FERRER, C.; SAN MIGUEL, A.; OLEA, L. (2001). Nomenclátor básico de pastos en España. *Pastos*, XXIX (2), 7-44.
- LASTRA, J. J. (2001). *Bosques naturales de Asturias*. 237 pp. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, A.; ARGAMENTERÍA, A.; DE LA ROZA, B. (2014). Manejo de forrajes para ensilar. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA) del Principado de Asturias, 280 pp. Villaviciosa (Asturias).
- ORTEGA, M.E., DE LA MANO, D., FERNÁNDEZ, S., GARRIDO, B. (2011). *El Monte en Asturias*. Consejería de Medio Rural y Pesca. Dirección General de Política Forestal. Gobierno del Principado de Asturias, 82 pp. Oviedo.
- PHILLIPS, J. D., (1993). *Stability implications of the state factor model of soils as a nonlinear dynamical system*. *Geoderma*, 58; pp. 1-15.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M. (2005). *Agenda de Campo de Suelos: Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, pp.541, Madrid.
- RICHARDSON J. L., VEPRASKAS M.J. (eds.) (2001). *Wetland Soils. Genesis, Hydrology, Landscapes and Classification*. Lewis Publishers 432 pp. Boca Raton, FL., USA.
- RODRÍGUEZ-RASTRERO, M. (2016). *Los suelos de Asturias (España): un enfoque basado en las relaciones entre factores formadores y horizontes de diagnóstico*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geología y Geoquímica, 468 pp.
- SOIL SURVEY STAFF (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, 362 pp. Washington, DC.
- UGOLINI, F. C., EDMONDS, R. L. (1983). *Soil Biology*. In: Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F. *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and interactions*. Chapter 7, pp. 193-231. Elsevier.
- XIE, Y., SHA, Z., YU, M. (2008). *Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review*. *Journal of Plant Ecology*. Oxford University Press. Volume 1, Number 1, pp. 9-23.