



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Estudio del ciclo de nutrientes en plantaciones multiobjetivo de *Eucalyptus globulus* en SW España

DOMINGO-SANTOS J.M.¹, FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M.¹, CORRAL-PAZOS-DE-PROVENS, E.¹, FERNÁNDEZ GARCÍA M.L.¹, FERNÁNDEZ DE VILLARÁN SAN JUAN, R.¹, RUIZ FERNÁNDEZ, F.²

¹ Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva, juan.domingo@uhu.es

² ENCE, Energía y Celulosa S.A.

Resumen

La influencia de la especie forestal sobre el estado nutricional de los suelos es una cuestión planteada en los foros de discusión ambiental. Se atribuyen a especies de crecimiento más rápido, como pinos y eucaliptos, efectos negativos sobre los suelos forestales, mientras que otras cubiertas forestales reciben una consideración mejoradora.

Se ha seleccionado el grupo de litofacies más frecuente en el territorio forestal del macizo de Sierra Morena y sus estribaciones en la provincia de Huelva, compuesto por: pizarras con grauwacas (facies Culm); pizarras, cuarcitas, grauwacas y areniscas del Devónico-Carbonífero inferior (complejo PQ); filitas, esquistos y otros materiales metamórficos.

Se dispone de un total de 100 puntos de muestreo de perfiles edafológicos completos repartidos bajo formaciones de pinar, encinar adehesado, matorral, herbazales y eucaliptal. Se dispone además de 20 muestreos recientes en plantaciones de eucaliptal bajo un modelo de explotación más intensivo, en los que se han obtenido muestras a profundidad fija 0-20 cm y 20-50 cm.

Se hace la comparación, entre las distintas formaciones forestales, del contenido en macronutrientes, micronutrientes y materia orgánica, además de otros indicadores nutritivos como pH, capacidad de intercambio catiónico y saturación en bases. y luego se comparan con las parcelas semi-intensivas de eucaliptal.

Las diferencias en las concentraciones de nutrientes de los suelos entre las distintas formaciones arboliadas son pequeñas y poco significativas entre pinos, especies de *Quercus* y eucaliptos. Las plantaciones semi-intensivas de eucalipto, que se encuentran en su mayor parte en el ciclo de segunda rotación, tampoco presentan diferencias nutritivas significativas respecto a los valores medios para estos suelos, a pesar del dinamismo de manejo, al menos a medio plazo. A la vista de las producciones de estos eucaliptales, en valores de 4,5 a 9 m³ · ha⁻¹ · año⁻¹, se concluye que debe existir una intensa circulación de nutrientes, con una alta tasa de reciclaje proporcionado por los desfrondes.

Palabras clave

Sostenibilidad, eucalipto, dinámica del suelo, suelos oligotróficos, consumo de nutrientes.

1 Introducción

Eucalyptus globulus se ha plantado con fines comerciales en el suroeste de España desde finales del S.XIX (MARTÍN, 1946; SÁNCHEZ GULLÓN ET AL., 2009). La expansión y el desarrollo de las plantaciones de esta especie en las provincias de Huelva y Sevilla se vieron incrementados a partir de 1957, con el surgimiento de la industria para la producción de pasta de celulosa (RUIZ & LÓPEZ, 2010; SILVA-PANDO, 2021). Los modelos de selvicultura aplicada desde entonces han estado orientados a la producción de madera destinada a la fabricación de celulosa, considerando inicialmente el aprovechamiento de la madera descortezada y, más adelante, el fuste completo del árbol (FLORES, 1962; TOVAL, 1999). Aunque, desde un principio, el proceso de fabricación de pasta kraft (GONZÁLEZ-GARCÍA ET AL., 2009) ya consideraba el aprovechamiento energético de los residuos de biomasa como cortezas, finos y lignina a través de cogeneración, el auge de este tipo de

aprovechamiento en los últimos años ha derivado en un aprovechamiento mixto biomasa-celulosa de las plantaciones de esta especie en la región.

El modelo de gestión que se ha utilizado tradicionalmente en el suroeste de la Península Ibérica para el cultivo y el aprovechamiento de eucalipto, con destino principal para madera-celulosa, aplica cortas a hecho como método de regeneración bajo el método de beneficio de monte bajo. La implantación de masas tiene lugar con material clonal desde hace décadas (SORIA & LÓPEZ, 2014; TOVAL, 2004), a partir de plantas de vivero de una savia procedentes de esquejes enraizados, y con densidades iniciales de plantación entre 625 y 1000 pies·ha⁻¹ (ENCE, 2014). El aprovechamiento se lleva a cabo en rotaciones de 10 a 15 años (PARDO, 1990); una vez crecidos y cortados los plantones iniciales (RC) tras el primer turno, se aprovechan dos rebrotos en turnos similares. En el segundo o tercer año de las etapas de chirpial (CS) se realiza la selección de brotes, dejando 2 (3) brotes por cepa. Otros tratamientos de mejora aplicados son los desbroces para el control de matorral y, con menos frecuencia, las podas de formación. El desarrollo de la selvicultura de la especie en la región ha ido incorporando progresivamente la recomendación de aplicar tratamientos de fertilización (GONZÁLEZ ET AL., 1985c; RUIZ ET AL., 2001, 1997; VIERA ET AL., 2016), tanto de implantación como de mantenimiento y post-aprovechamiento, de acuerdo a los resultados obtenidos en numerosos estudios nutricionales (DOMÍNGUEZ, 1986; GONZÁLEZ ET AL., 1985a, 1985b; LÓPEZ, 1991). Así, pueden aplicarse entre 2 a 4 fertilizaciones durante el turno, aunque estas operaciones se han ido reduciendo progresivamente. El aprovechamiento más frecuente es el de fuste con corteza; la fracción fina de las copas de los árboles queda sobre el terreno después de un tratamiento consistente en la trituración *in-situ* de los restos de cosecha. Al finalizar el ciclo productivo, en general al final de la segunda rotación de chirpial, se procede al arranque de las cepas, la renivelación y preparación del terreno, así como la nueva plantación. Las cepas tienen un aprovechamiento energético (biomasa), al igual que la corteza de los fustes extraídos (RUIZ ET AL., 2008).

El cambio de las condiciones actuales del mercado de los productos provenientes de las plantaciones de eucalipto está generando modificaciones en el modelo resumido en el párrafo anterior. Sucintamente, este cambio consiste en un aumento importante de la demanda local de biomasa, a la par que se ha mantenido el interés por la producción de madera con aprovechamiento celulósico (RISI, 2013).

En consecuencia, se plantean modelos mixtos que permitan rentabilizar al máximo en el mercado de la pasta de celulosa la fracción de mayor calidad, a la vez que valorizan energéticamente la fracción fina del árbol, que anteriormente era únicamente un residuo, pero que en la actualidad tiene demanda en el sector energético, siempre que las distancias de transporte no supongan un coste excesivo (BADILLO ET AL., 2012; CABRERA ET AL., 2011).

La reorientación de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* hacia la producción de biomasa o hacia modelos mixtos de biomasa-celulosa plantea interrogantes sobre la sostenibilidad de estas producciones (EUFRADÉ JUNIOR ET AL., 2016; MERINO ET AL., 2005). El cambio del aprovechamiento principal de las plantaciones lleva a modificaciones en la frecuencia de las cortas, la intensidad de aprovechamiento y, posiblemente, en la densidad de las plantaciones, lo cual puede suponer alteraciones en los ciclos de nutrientes, en el grado general de intervención sobre el territorio y en los paisajes (PÉREZ-CRUZADO ET AL., 2011; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO ET AL., 2018). Es necesario que este cambio en el aprovechamiento de las plantaciones tenga lugar bajo criterios de gestión forestal sostenible, por lo que se deben vigilar y evaluar con especial atención los factores ambientales, con vistas a establecer medidas preventivas, en caso que se identifiquen impactos negativos que puedan resultar significativos.

2 Objetivos

El objeto de este trabajo es detectar los cambios que las plantaciones forestales de eucalipto puedan estar produciendo sobre los suelos del grupo de litofacies más frecuente en el suroeste peninsular, en comparación con otras cubiertas forestales más estables y con una proyección temporal mucho más dilatada. Para ello se formulan los siguientes objetivos directos:

- Evaluar la relación entre la situación nutricional del suelo forestal y los tipos de formación vegetal que sustenta.
- Evaluar de forma directa los cambios que se han producido en los suelos de masas forestales gestionadas con un modelo mixto celulosa-biomasa (manejo que puede denominarse “semi-intensivo”), a lo largo de los últimos 7-8 años, y en relación con los valores generales de estas formaciones forestales.

3 Material y métodos

3.1 Área de estudio

Este estudio se localiza en la provincia de Huelva, con una superficie total de plantaciones de eucalipto de 76 068 ha (SIPNA, 2020), un 7,5% de la superficie provincial. Las parcelas de muestreo se localizaron principalmente en la comarca del Andévalo (Figura 1).

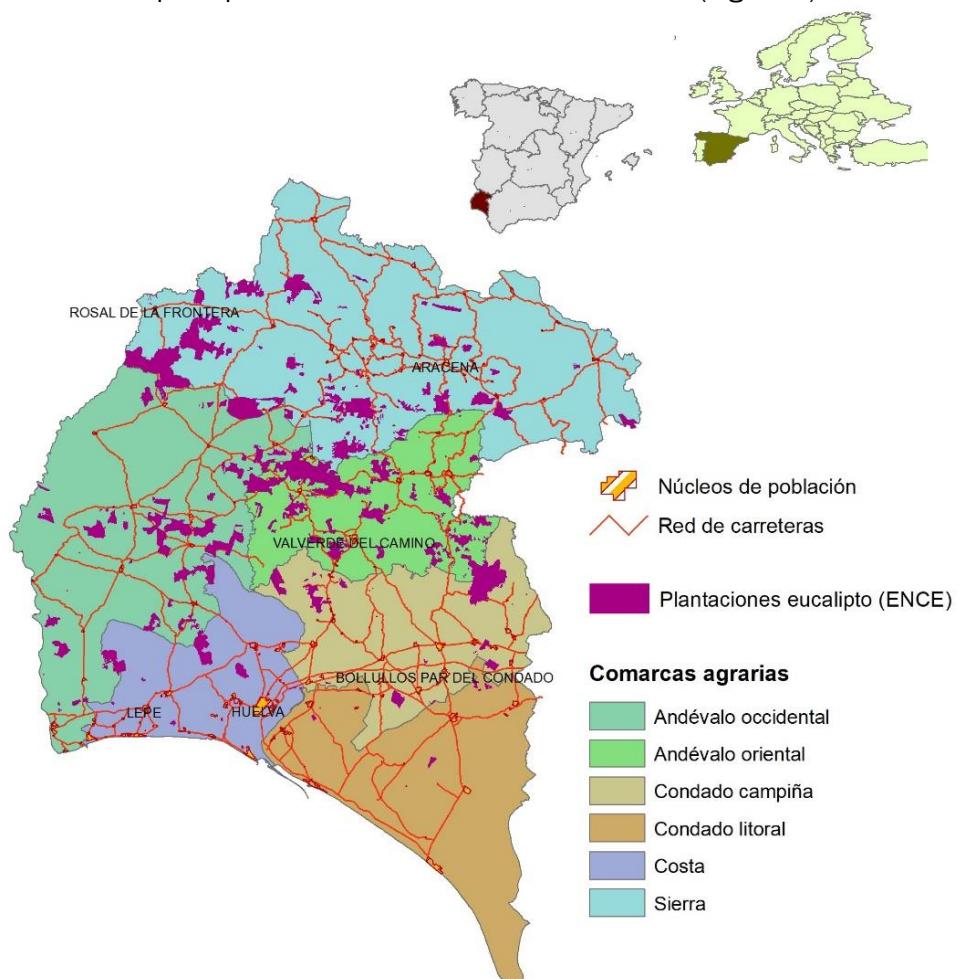


Figura 1. Mapa de localización.

El clima es mediterráneo, clasificado según Köppen-Geiger como Csa (warm temperate climate with dry and hot summer) (KOTTEK ET AL., 2006), con un rango de precipitaciones anuales entre 500 y 1070 mm, y una temperatura media anual que oscila entre 14,5 y 19°C, con duración del periodo seco estival, característico del clima mediterráneo, entre 3 y 4,25 meses. En la Figura 2 se han representado los climodiagramas de Walter-Lieth (1967) para la zona con clima más seco y la zona con clima más lluvioso, respectivamente, del área de estudio.

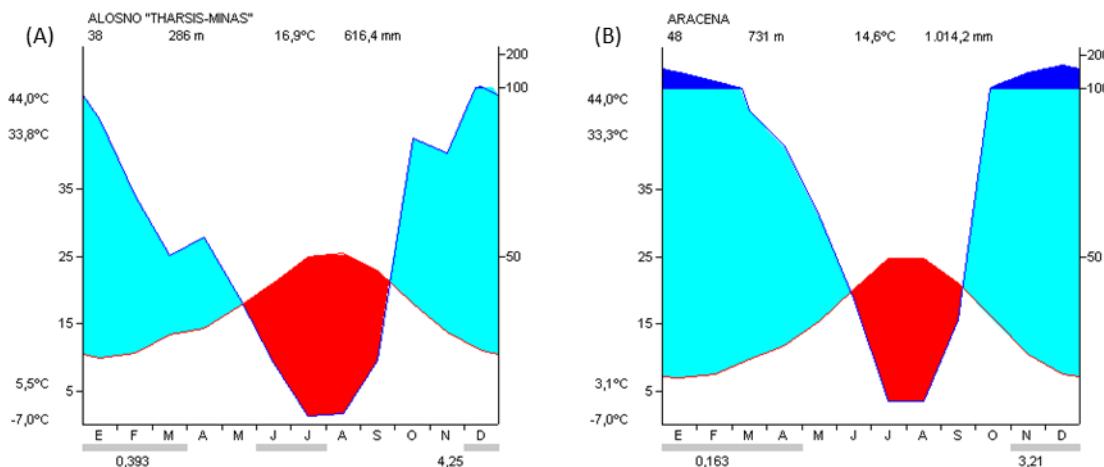


Figura 2. Climodiagramas Walter-Lieth (A) del extremo con clima más seco de la zona de estudio; (B) del extremo con clima más lluvioso de la zona de estudio.

Para la realización de este estudio se ha considerado un grupo de rocas de cierta homogeneidad en cuanto a sus características químicas y los tipos de suelo que sustentan. Todas las rocas del grupo son materiales ácidos, sedimentarios, bien consolidados y de origen Devónico o Carbonífero. Las formaciones geológicas que los integran, adaptadas a partir del Mapa Geológico Nacional (IGME, vv.aa.) son: “rocas pizarrosas de facies Culm”; “pizarras, cuarcitas, grauwacas y areniscas del Devónico-Carbonífero inferior (PQ)”; y “filitas, esquistos y materiales cuarcíferos acompañantes”. Estas litofacies aparecen en el 43,7% de la superficie de la provincia de Huelva y casi el 70% de las plantaciones de eucalipto; su distribución se puede ver en la Figura 4.

El relieve asociado a las formaciones rocosas estudiadas es variado, las pendientes más frecuentes oscilan entre 10-20%, aunque los extremos van desde el 3 al 50%.

Los tres grupos de litofacies presentan suelos muy parecidos, en general con texturas intermedias de tipo franco o algo más finas (franco-limosa, franco-arcillo-limosa), abundante pedregosidad (40-80%) y una capacidad hídrica intermedia a baja (35 a 105 mm de capacidad de retención de agua disponible) según la estimación de Domingo-Santos et al. (2006). Por su origen en materiales silíceos pizarrosos son suelos de formación muy lenta y escasos contenidos en nutrientes. Los taxones característicos (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) de los suelos menos evolucionados alterados son los regosoles lépticos, por su escaso desarrollo en profundidad y su rocosidad, que pueden evolucionar a cambisoles lépticos y, posteriormente, hacia alisoles endolépticos o a luvisoles lépticos cuando el lavado de bases no es tan fuerte (generalmente esqueléticos). Cuando el cuarzo es más abundante también aparecen lixíosoles lépticos, dada la escasez en bases de estos materiales, que al acidificarse dan lugar a acrisoles lépticos, principalmente. Cuando el terreno se encuentra aterrazado se ha señalado el carácter escálico.

Toda la información sobre los suelos ha sido obtenida por los autores del trabajo en diversos proyectos técnicos y trabajos de investigación (DOMINGO-SANTOS, 2002).

3.2 Descripción metodológica general

Se parte de dos fuentes de datos:

- Datos de suelos recolectados en estudios de campo realizados entre los años 1999 y 2010. Un total de 100 calicatas completas que se localizan bajo distintas coberturas vegetales, pero sobre el mismo grupo de litologías, ya indicado.
- Datos de muestreos de suelos en 20 puntos bajo eucaliptal muestreados en el año 2011 y remuestreados en las mismas ubicaciones en el año 2019.

El grupo de datos A se utiliza para hacer una caracterización estadística general de los nutrientes de estos suelos, buscando posibles diferencias entre las distintas cubiertas vegetales y tratando de hacer una caracterización de referencia de estos suelos bajo cada una de las cubiertas.

El grupo de datos B se analizará para caracterizar la evolución temporal de los nutrientes del suelo en masas de eucaliptos, en períodos cortos de cultivo, en este caso 8 años.

Por tanto, se busca establecer dos dimensiones de comparación, la primera dimensión relativa a la influencia de las especies sobre la dinámica de los nutrientes del suelo; la segunda dimensión relativa al efecto de la especie *Eucalyptus globulus* sobre la dinámica de los nutrientes del suelo a lo largo del tiempo.

El procedimiento metodológico queda sintetizado en la Figura 3.

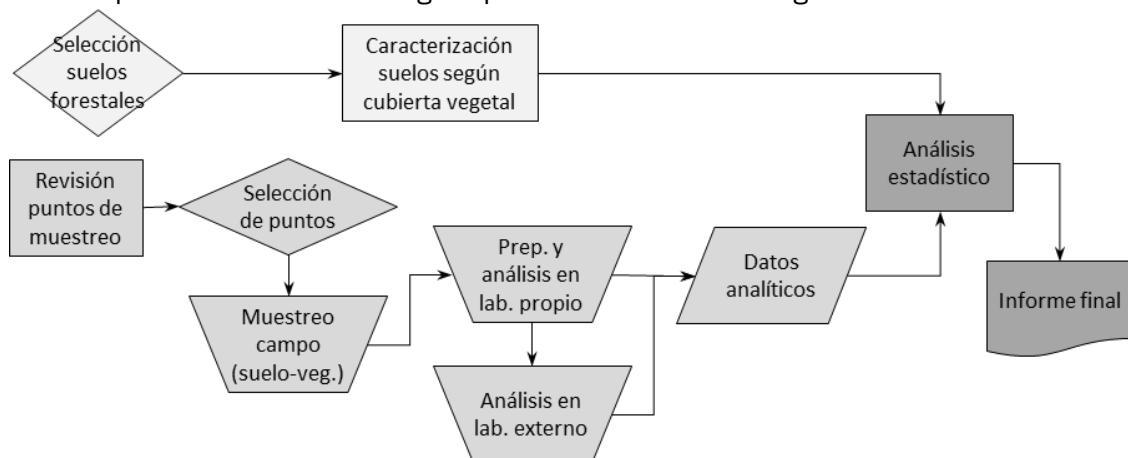


Figura 3. Diagrama de flujo sobre la metodología seguida en el trabajo.

3.3 Caracterización de los suelos según la cubierta vegetal (grupo A)

3.3.1 Selección de suelos forestales

Se dispone de 100 puntos de muestreo de suelos realizados sobre los grupos de litofacies comentados en la sección 3.1 (Figura 4), que se reparten entre distintas formaciones forestales tal como se indica en la Tabla 1. En la misma Tabla se muestra también la codificación que se utiliza para cada formación vegetal en la presentación de los resultados estadísticos.

Tabla 1. Formaciones vegetales de referencia situadas sobre el mismo grupo de litofacies en que se hace el estudio, con los códigos identificativos. El número total de puntos de muestreo sobre estas litofacies es de 100, repartidos como se indica en la tabla.

Código	Formación vegetal	Nº de puntos
100	Eucaliptal	23
150	Mezcla de especies arbóreas	2
200	Herbáceas y Sin vegetación	7
300	Matorral	9
350	Matorral degradado	5
400	Pinar	38
500	Quercus	16

3.3.2 Muestreos de campo

Los suelos del grupo A se muestrearon en perfiles completos (calicatas) según se describe en PORTA CASANELLAS ET AL. (2003). Las calicatas se abrieron, en general, por medios mecánicos, hasta alcanzar roca consolidada o hasta que no se observó presencia significativa de raíces; en este último caso se detuvo la excavación a profundidades entre 1,15 m y 1,5 m. En zonas inaccesibles o ambientalmente sensibles la apertura de los muestreos fue manual.

En cada calicata se identificaron los distintos horizontes y se muestreó cada horizonte separadamente.

3.3.3 Preparación de muestras y análisis químico-físico

Las muestras de suelos fueron analizadas siguiendo la metodología expuesta por VALLEJO (1994).

Las muestras de tierra fina se sometieron a los siguientes análisis:

- pH: determinación del pH en agua (pHagua) y el pH de cambio en KCl 0,1 M (pHKCl), en una proporción suelo/agua (o KCl 0,1 M) de 1:2,5, realizándose la medida con pH-metro.
- Conductividad eléctrica (EC) 25ºC: determinación en extracto acuoso de suelo, en relación suelo/agua de 1:5, mediante conductímetro, en dS/m.
- MO: mediante un analizador elemental carbono-azufre marca LECO.
- Ca, Mg, K, Na: cationes de cambio (meq/100 g). El Ca y el Mg se analizan por espectroscopía de absorción atómica; el Na y el K se determinan con un fotómetro de llama de baja temperatura.
- CIC: capacidad de intercambio catiónico (meq./100 g). Mediante fotometría de llama.

Los rangos de abundancia escasez en nutrientes se tomaron de Urbano Terrón (1989).

3.4 Caracterización de suelos con modelos más intensivos de plantación forestal (grupo B)

3.4.1 Selección y revisión de los puntos de muestreo

En el año 2011 se puso en marcha un proyecto de investigación en el que se estableció un dispositivo experimental que implicaba, entre otras cosas, la toma de muestras de suelos en 56 puntos del territorio; de esos 56 puntos se han seleccionado un total de 20 para su remuestreo en el año 2019 (véase Figura 4) atendiendo a los siguientes criterios: (i) parcelas que actualmente estén bajo el modelo mixto de gestión; (ii) distribución territorial que abarque un gradiente de precipitaciones y temperaturas amplio; (iii) parcelas principalmente en estado chirpial-1, con el objetivo de apreciar el consumo de nutrientes que puede tener lugar en un momento de tanta

demanda como es el periodo de rebrote. Por lo general, la primera rotación de estos eucaliptales ha durado entre 10 y 13 años y la mayor parte se encuentran en una fase de chirial de intenso crecimiento; no se trata, por lo tanto, de plantaciones de turnos muy cortos, ni de densidades de plantación muy altas, por lo que el grado de intensidad de estas plantaciones forestales se puede considerar moderado, siendo el que se aplica mayoritariamente en los eucaliptales de la provincia.

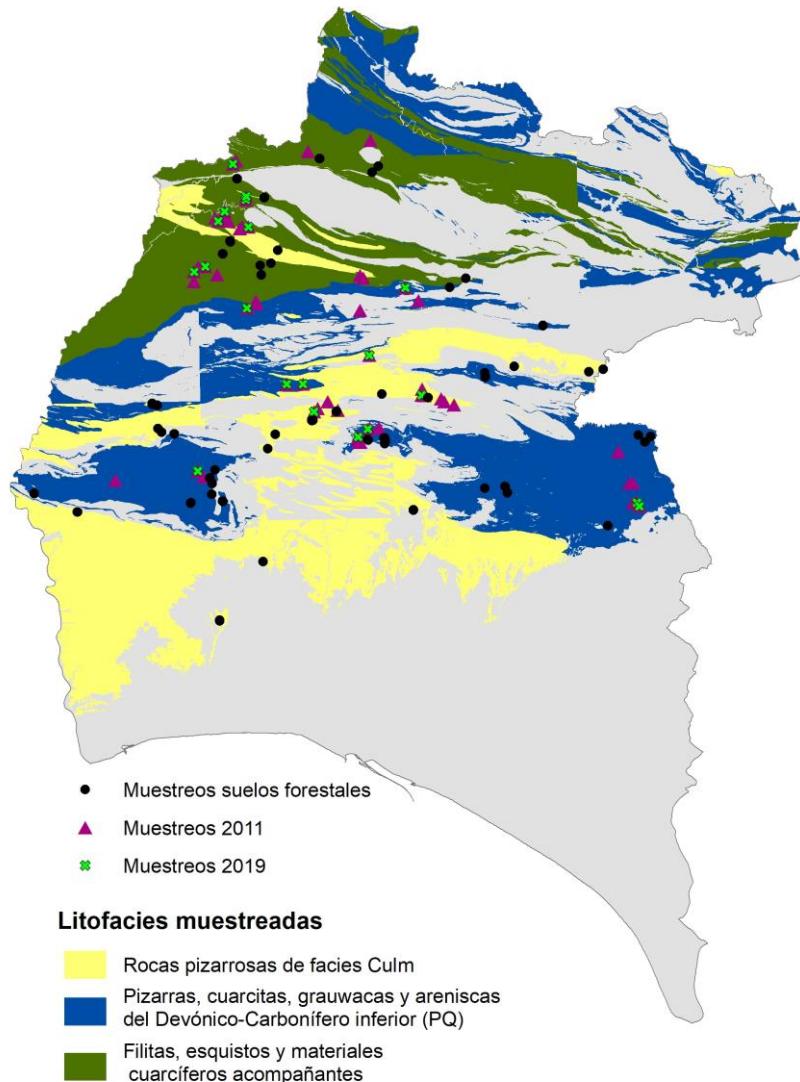


Figura 4. Distribución de la red de parcelas muestreadas.

3.4.2 Muestreos de campo

La toma de muestras edáficas se ha llevado a cabo siguiendo la misma metodología en las dos campañas de campo. En cada una de las parcelas seleccionadas se ha obtenido una muestra combinada de suelo a la profundidad de 0 a 20 cm (muestra S) y una segunda muestra de 20 cm en adelante (muestra P), mediante muestreo en 3 puntos distintos de la parcela (Figura 5).

Al finalizar esta fase de campo tenemos un total de 40 muestras de suelos procedentes de la campaña de 2011 y otras 40 muestras de suelo de la campaña de 2019.



Figura 5. Izda.: localización de los tres puntos de muestreo en las parcelas. Centro: muestreo de suelo con profundidad mínima de 40 cm; en cada parcela se han muestreado tres puntos a dos profundidades distintas. Dcha.: las 3 muestras (A, B y C) de cada profundidad (en este caso muestra P, profunda, de 20 a 40 cm) se han colocado sobre un plástico y fotografiado, antes de proceder a su mezcla y homogeneización en una sola muestra combinada.

3.4.3 Fase de preparación de muestras

Las muestras de suelos recogidas en la campaña de campo de 2019 se prepararon, sometiéndolas a un secado al aire, trituración de agregados y tamizado para separar la tierra fina de los gruesos. Una parte de cada muestra se reservó para realizar análisis de contraste y el resto se puso en botes para enviarlas a un laboratorio externo.

A estas 40 muestras se le añadieron otros 40 botes con las muestras (superficie y profundidad) obtenidas en esas mismas 20 parcelas en la campaña de campo de 2011. Estas últimas muestras ya fueron analizadas por los laboratorios de la UHU, pero con el fin de homogeneizar la precisión en el análisis, mediante la utilización de los mismos aparatos, se han repetido estos análisis en el laboratorio externo.

3.4.4 Análisis químico-físico en laboratorio

Las muestras de suelo y del arbolado se enviaron para su análisis a un laboratorio privado que ejecuta frecuentes servicios a la Universidad de Huelva, donde se sometieron a los siguientes análisis:

- Determinación del pH en agua (pHagua) y el pH de cambio (pHKCl), en una proporción suelo/agua (o KCl 0,1 M) de 1:2,5, realizándose la medida con pH-metro.
- Porcentaje de materia orgánica (MO), estimado por valoración según el método del Walkley-Black (1934).
- Cationes de cambio: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), en ppm. Extracción con acetato amónico y medición por espectroscopía de absorción atómica.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC), en meq/100g.
- Saturación del complejo de cambio (V), en porcentaje.

3.5 Ánalisis estadístico

Grupo A: Se hace una estadística descriptiva básica de las concentraciones de nutrientes de los suelos, agrupados según las distintas coberturas vegetales en las que se han muestreado. Se toma la decisión de obtener valores de perfil completo en medias ponderadas que dan mayor peso a

los horizontes superficiales según el método de Russell-Moore (Gandullo, 1994), dado que el arbolado distribuye sus sistemas radicales por todo el perfil, aunque con una mayor concentración en las partes más superficiales del suelo.

Grupo B: Se hace también un análisis de estadística descriptiva, en el que se compararán las medias, medianas y otros estadísticos, teniendo en cuenta los años de muestreo 2011/2019, las profundidades P/S y la etapa de cultivo brinal/chirpial (BR/CH) en que se encuentren.

Los valores característicos de nutrientes eucaliptales del grupo A sirven de referencia a los del grupo B que llevan más tiempo en explotación y con una mayor intensidad.

4 Resultados

4.1 Valores de referencia para distintos tipos de formaciones vegetales (grupo A)

En la Tabla 2 se presenta el análisis de estadística descriptiva para las principales formaciones vegetales que aparecen sobre el mismo grupo de litofacies, dentro de la provincia de Huelva, para los 100 puntos de muestreo del grupo A.

Tabla 2. Valores medios de nutrientes y otros parámetros edafológicos, en distintas formaciones forestales (medias ponderadas según el método de Russell-Moore, salvo la materia orgánica que es la media de la profundidad 0-40 cm).

Concentraciones de cationes Ca, Mg, K y Na en ppm; CIC en meq/100g, V en % y MO en % de peso de tierra fina.

FormVege	Cod_ForVeg	pHagua	pHKCl	Ca	Mg	K	Na	CIC	V	MO
Eucaliptal	100	5,47	4,00	274	186	61	25	10,3	29,8	2,00
Herbáceas	200	6,32	4,39	772	572	86	56	12,7	71,5	1,41
Matorral	300	5,73	4,57	551	215	102	17	11,4	43,5	2,58
Matorral degradado	350	5,74	4,16	519	419	82	28	11,0	54,7	2,74
Mezcla sp arbóreas	150	5,25	4,10	396	130	76	21	10,2	33,0	1,48
Pinar	400	5,34	4,02	199	143	66	24	10,5	23,8	2,89
Quercus	500	5,60	4,04	425	354	73	39	10,5	45,5	1,86
Sin vegetación	200	5,12	3,99	84	73	66	16	8,4	16,4	1,63
Total		5,50	4,09	324	222	71	27	10,6	33,8	2,36

A continuación se muestra un conjunto de gráficos de caja (Gráfico 1 a Gráfico 5) que señalan la distribución más frecuente de estas variables para cada formación. El prefijo "M_RM" indica que se trata de valores medios ponderados según el criterio de Russell-Moore.

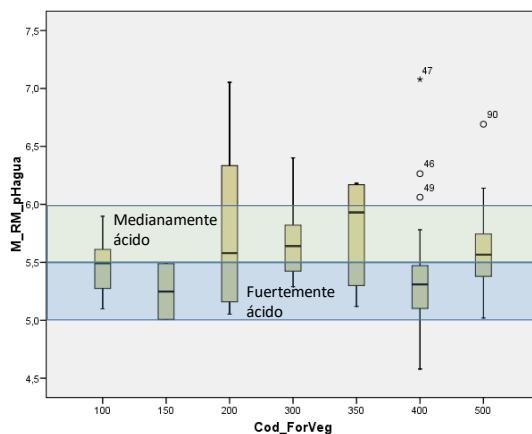


Gráfico 1. pH de la solución del suelo.

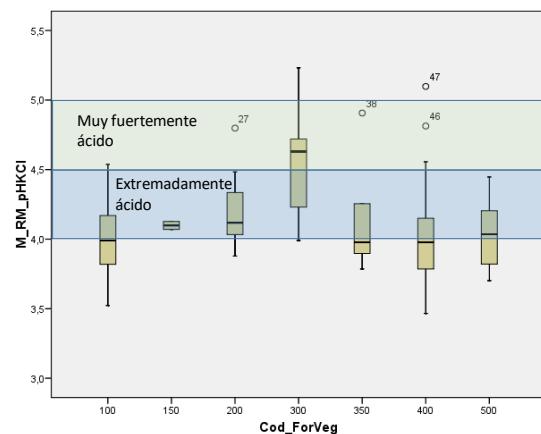


Gráfico 2. pH de cambio.

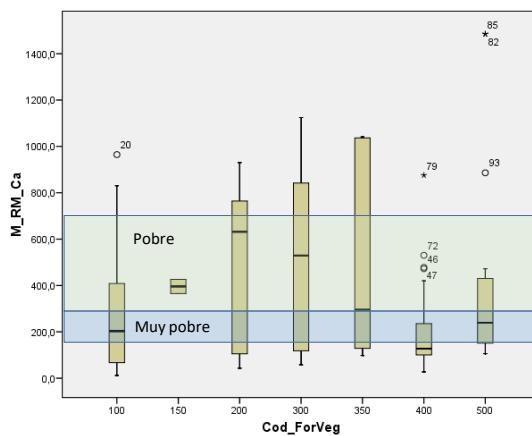


Gráfico 3. Contenido en calcio (Ca-ppm).

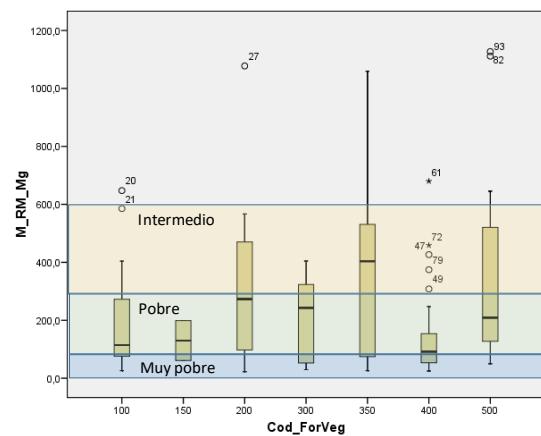


Gráfico 4. Contenido en magnesio (Mg-ppm).

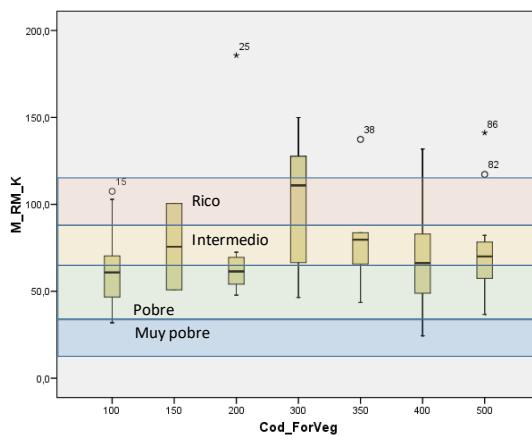


Gráfico 5. Contenido en potasio (K-ppm).

Gráficos 1 a 5. Valores de las variables relativas a nutrientes del suelo según las distintas formaciones vegetales (100: Eucaliptal; 150:Mezcla de especies arbóreas; 200:Herbáceas y sin vegetación; 300:Matorral; 350:Matorral degradado; 400:Pinar; 500:Quercus)

Puede apreciarse lo siguiente en cuanto a los valores de referencia:

- La reacción del suelo en formaciones de eucaliptal se mantiene en rangos similares a pinares, formaciones de *Quercus* y de matorral degradado, entre “Fuertemente ácido” (de 5,1 a 5,5) y “Medianamente ácido” (de 5,6 a 6,0) para el pH al agua (solución del suelo) y “Extremadamente ácido” (menor de 4,5) o incluso inferior, para el pH de cambio.
- El contenido en Ca en el eucaliptal es, en general, “Muy pobre” (de 150 a 300 ppm), al igual que en formaciones de *Quercus* y de matorral degradado; para los pinares los contenidos medios son incluso menores.
- El contenido en Mg tiene una mediana “Pobre” (de 80 a 300 ppm) para la mayor parte de formaciones salvo el matorral degradado, siendo especialmente bajo para los pinares.
- El K presenta valores intermedios (de 64 a 91 ppm) para la mayoría de las formaciones forestales; el eucaliptal se encuentra ligeramente por debajo y presenta valores pobres (de 37 a 64 ppm).

4.2 Estadística descriptiva de las parcelas de muestreo (gestión semi-intensiva, grupo B)

Los resultados principales de las medias de las variables nutricionales de los suelos se exponen a continuación en las tablas Tabla 3 y Tabla 4, agrupados según el año de toma de las muestras, la profundidad de muestreo y el ciclo productivo.

Tabla 3. Valores medios de distintas variables relacionadas con el estado de nutrientes en el suelo. Se diferencia entre horizonte de profundidad (P), de 20 a 40 cm, y horizonte de superficie (S), de 0 a 20 cm; y entre los dos momentos de muestreo con un espaciamiento temporal de 8 años, 2011 y 2019. El color anaranjado de las celdas indica los valores por debajo de la media (se pueden considerar desfavorables); las celdas de color verdoso indican valores por encima de la media, que en general serían más favorables.

Horizonte ➔	P			S			Total		
Año muestra ➔	2011	2019	Total	2011	2019	Total	2011	2019	Total
pHagua	5,26	5,29	5,28	5,15	5,18	5,17	5,20	5,24	5,22
pHKCl	3,84	3,94	3,89	3,77	3,93	3,85	3,80	3,93	3,87
CIC (meq/100g)	10,5	10,3	10,4	10,5	10,3	10,4	10,5	10,3	10,4
V (%)	10,4	10,3	10,3	10,2	10,4	10,3	10,3	10,3	10,3
MO (%)	1,01	1,08	1,05	1,09	1,13	1,11	1,05	1,10	1,08
Ca (ppm)	250	232	241	234	272	253	242	252	247
Mg (ppm)	180	165	173	182	206	194	181	185	183
K (ppm)	73	74	74	72	74	73	73	74	73
Na (ppm)	5,77	6,57	6,17	6,23	6,15	6,19	6,00	6,36	6,18

Tabla 4. Valores medios de distintas variables relacionadas con el estado de nutrientes en el suelo. Se diferencia entre horizonte de profundidad (P), de 20 a 40 cm, y horizonte de superficie (S), de 0 a 20 cm; y entre dos etapas del ciclo productivo, brinjal (BR) y chirpial (CH). El color anaranjado de las celdas indica los valores por debajo de la media (se pueden considerar desfavorables); las celdas de color verdoso indican valores por encima de la media, que en general serían más favorables.

Horizonte ➔	P			S			Total		
Estado ciclo ➔	BR	CH	Total	BR	CH	Total	BR	CH	Total
pHagua	5,22	5,30	5,28	5,17	5,16	5,17	5,19	5,23	5,22
pHKCl	3,96	3,86	3,89	3,93	3,82	3,85	3,94	3,84	3,87
CIC (meq/100g)	10,1	10,6	10,4	10,5	10,4	10,4	10,3	10,5	10,4
V (%)	10,3	10,4	10,4	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
MO (%)	1,03	1,05	1,05	0,93	1,16	1,11	0,98	1,11	1,08

Horizonte→	P			S			Total		
Estado ciclo→	BR	CH	Total	BR	CH	Total	BR	CH	Total
Ca (ppm)	232	243	241	272	247	253	252	245	247
Mg (ppm)	164	175	173	183	197	194	174	186	183
K (ppm)	66	76	74	57	78	73	62	77	73
Na (ppm)	6,81	5,95	6,17	6,52	6,09	6,19	6,66	6,02	6,18

Se indican los aspectos más destacables de los resultados obtenidos.

Para la reacción del suelo (pHagua y pHKCl)

- Los valores de pH, tanto en la solución del suelo (pHagua), como el de cambio (pHKCl), se mantienen dentro de los intervalos de referencia que presenta la especie obtenidos para el grupo A (apartado anterior). Los valores medios están ligeramente por debajo, de 5,4 a 5,2 para pHagua, de 3,87 a 3,98 para pHKCl. A este respecto debe tenerse en cuenta que los valores de referencia se refieren a todo el perfil; los horizontes de superficie suelen presentar una acidez ligeramente mayor por el lavado de bases.
- La variación media del pH es muy pequeña entre los años 2011 y 2019, con una tendencia al alza poco significativa.
- El horizonte de profundidad (P) presenta valores de pH superiores al de superficie (S).
- Entre brizales y chiriales no se aprecian diferencias significativas. Los pHagua son ligerísimamente superiores en CH y al contrario para los pHKCl, ligerísimamente mayores para BR.

Para el porcentaje de materia orgánica en el suelo (MO)

- El contenido en MO es muy bajo en general.
- Los contenidos medios en MO aumentan ligeramente entre 2011 y 2019, tanto en los horizontes P como en los S.
- Los horizontes S son ligerísimamente más orgánicos, pero los P incrementan más con el tiempo.

Para el calcio (Ca) en el suelo

- El contenido en Ca se mantiene en general en la categoría de “Muy pobre” (de 150 a 300 ppm), con algunos valores que llegan a “Pobre” (de 300 a 700 ppm).
- Se aprecia un ligero, pero significativo, incremento en el Ca en superficie (S), respecto de los horizontes de profundidad (P), entre las dos fechas de muestreo. Este efecto es especialmente visible en los brizales (BR).
- El contenido total en Ca también aumenta entre los dos años de muestreo, si bien la diferencia puede considerarse poco significativa.

Para el magnesio (Mg) en el suelo

- El contenido en Mg se mantiene en general en la categoría de “Pobre” (de 80 a 300 ppm), con valores medios por encima de los valores de referencia general, y con algunas muestras que alcanzan valores de la categoría “Intermedio” (de 300 a 600 ppm).
- De forma similar al Ca, en profundidad disminuye la concentración de Mg de 2011 a 2019, mientras que en superficie aumenta. Este efecto ocurre principalmente en los brizales; en los chiriales no se produce disminución en profundidad, aunque sí aumento en superficie.
- El contenido total en Mg apenas aumenta entre los dos años de muestreo, es un aumento no significativo.

Para el potasio (K-ppm) en el suelo

- El contenido en K toma valores medios ligeramente por encima de los valores de referencia general, ya que estos últimos caen en la categoría “Pobre” y las muestras estudiadas se presentan principalmente en la categoría “Intermedio”, aunque también aparecen muestras con contenidos “Pobre” y “Muy pobre”.
- Para este nutriente no se aprecian diferencias en las medias de los muestreos realizados en 2011 y 2019.
- Aparece una diferencia significativa entre las concentraciones de K en brizales y en chiriales; CH presentan valores mayores.
- Dentro de los BR los suelos de superficie presentan contenidos menores, aunque las diferencias son poco significativas.

5 Discusión

Aspectos generales

El foco de atención del presente trabajo es el conocimiento de los valores nutricionales de referencia para los suelos del grupo de litofacies mayoritario bajo las principales formaciones forestales de la zona. Todos estos suelos tienen un carácter netamente oligotrófico para todas las cubiertas forestales; incluso formaciones de una gran estabilidad temporal como las dehesas y montes de *Quercus* mediterráneos presentan niveles nutritivos muy parecidos a los de los eucaliptales, a pesar de que las extracciones se suponen menores y los procesos biogeoquímicos más estables. Los niveles nutritivos más bajos aparecen en los pinares.

Los valores de referencia de nutrientes en suelos bajo las distintas formaciones vegetales no intentan establecer una relación causal entre la vegetación forestal y el suelo. En el caso de las plantaciones forestales, el uso de determinadas especies rústicas como el pino puede ser consecuencia de que las condiciones edafoclimáticas comprometían seriamente el éxito de plantaciones con especies más exigentes. Asimismo, las plantaciones de eucalipto se llevaron a cabo, en su mayor parte, sobre terrenos forestales desarbolados o con arbolado ralo, que también se encontraban degradados. Por lo tanto, estas especies no se consideran la causa de la degradación del suelo, sino su consecuencia, como lo es el matorral de degradación. Dichas formaciones arbóreas, debidamente gestionadas, proporcionan una adecuada protección al suelo y realizan importantes aportes de materia orgánica, tanto más cuanto más rápido sea el crecimiento, que introducen condiciones más favorables para la entrada de otras especies y para la progresiva recuperación de los suelos (FERNÁNDEZ ET AL., 2018; PARROTTA, 1999; RAMESH ET AL., 2013).

En cuanto a los valores nutritivos de los suelos en parcelas de eucalipto de aprovechamiento mixto biomasa-celulosa, con respecto a los eucaliptales bajo regímenes de gestión orientados únicamente a la obtención de celulosa, se aprecian pequeñas disminuciones en la mayor parte de los nutrientes, salvo en el caso del potasio y de la materia orgánica, que se comentarán en el próximo punto.

En todas las parcelas estudiadas se ha producido un desarrollo normal de las plantaciones, con algunas variaciones en la calidad productiva que no han sido tenidas en cuenta, aunque se incorporarán en futuros análisis.

Para la reacción del suelo (pHagua y pHKCl)

En anteriores trabajos (DOMINGO-SANTOS ET AL., 2009) ya se hicieron análisis generales de la evolución de la reacción del suelo en relación con las distintas formaciones forestales que lo ocupan. Se ponía de manifiesto la escasa diferencia entre las principales formaciones adaptadas al clima mediterráneo, con lo que en ningún caso se podía hablar de acidificación de suelos debida a una cubierta forestal arbolada de las evaluadas.

Cuando nos centramos en plantaciones semi-intensivas de eucalipto, la evolución del pH respecto de plantaciones de referencia disminuye en 2 ó 3 décimas, lo cual representa una pequeña variación, aunque se trate de una cuestión a seguir controlando. Por otro lado, analizando las variaciones internas de las plantaciones, se aprecia que la evolución temporal de la reacción del suelo experimenta ligerísimas variaciones hacia arriba o hacia abajo, con una pauta dominante de muy leve aumento de los valores de pH en el tiempo.

Para el porcentaje de materia orgánica en el suelo (MO)

Las formaciones forestales mediterráneas, por su alternancia entre humedad y desecación, y por un régimen térmico favorable, presentan una rápida mineralización de la materia orgánica del suelo. Los eucaliptales no son una excepción, en los valores de referencia se han situado entre los pinares, cuyos desfrondes tienden a tener una descomposición más lenta, y los montes de *Quercus*.

En las plantaciones semi-intensivas se aprecia una disminución desde el 2%, que presentan los eucaliptales de referencia, al 1,08%, probablemente por la reducción de los restos que quedan sobre el terreno. El aspecto positivo es que la tendencia general es hacia un aumento, muy ligero pero progresivo (entre los momentos comparados en 2011 y 2019), tanto en superficie como en profundidad. En profundidad, además de la materia orgánica que se incorpore desde la superficie, pueden existir aportes de los sistemas radicales del arbolado y el sotobosque; en superficie los mayores aportes los constituirá el desfronde (FERNÁNDEZ ET AL., 2018; JHA & PRASAD MOHAPATRA, 2010; PARROTTA, 1999).

Para el calcio (Ca) en el suelo

A diferencia de los suelos de una gran parte del territorio español, el calcio es un elemento escaso en la provincia de Huelva, con excepción de algunas litofacies carbonatadas y algunos materiales volcánicos o plutónicos con silicatos cálcicos. Las litofacies estudiadas no incluyen ninguna de las excepciones citadas, por lo que los suelos tienden a ser muy pobres en Ca.

Pinares y eucaliptales presentan contenidos más bajos de Ca en relación a montes de *Quercus*, siempre dentro de la escasez general indicada, sin que esta circunstancia parezca afectar a estas masas forestales.

En las plantaciones semi-intensivas, los eucaliptos parecen actuar como bomba de Ca, pues se aprecian ligeras disminuciones de este elemento en profundidad y su aumento en el horizonte superficial, gracias a la descomposición de los restos foliares (desfronde) hacia los cuales se bombeó el Ca.

El retorno de Ca desde los sistemas foliares hacia el suelo parece bastante eficaz, pues se constata que no hay una reducción neta de este elemento en el suelo con el paso del tiempo. Únicamente en aquellos suelos en los que se ha medido una riqueza relativamente mayor (contenidos tipificados como “pobres” en lugar de “muy pobres”) se aprecian disminuciones significativas en algunos casos; en estas condiciones de escasez los niveles de Ca en los tejidos del vegetal están por debajo de su óptimo, por lo que la plantación tiende a absorber todo el Ca posible dentro de las posibilidades que le ofrece el terreno para abastecer al crecimiento. Parte del Ca es movilizable dentro de la planta y retornado al suelo con el desfronde; otra parte es retornado con los restos no aprovechables de la cosecha; pero otra parte es calcio inmóvil y queda en la biomasa cosechada, por lo que se exporta (KUMAR ET AL., 2015; MARSCHNER, 2012; WHITE & BROADLEY, 2003).

Para el magnesio (Mg) en el suelo

Los suelos de las litofacies estudiadas son pobres en magnesio, si bien este no es un elemento tan escaso como el Ca, debido principalmente a que entre los materiales silíceos que componen estas rocas sedimentarias hay cierta presencia de los de origen ferromagnesiano.

La comparación entre cubiertas vegetales muestra también una mayor escasez de Mg en pinares y eucaliptales en comparación con las masas de *Quercus*. Por el contrario, no se aprecia variación significativa entre eucaliptales, cuando estos se encuentran en un régimen semi-intensivo. Dentro de estas plantaciones, se aprecia un efecto similar al indicado para Ca, de bombeo hacia el horizonte superficial, que incrementa su concentración en Mg, mientras que el de profundidad presentan ligeras disminuciones o permanece estable.

Se constata que el sistema no presenta pérdidas netas de Mg, cuyo global incluso parece aumentar ligeramente; en este caso, ese Mg complementario debería venir de bombeos más profundos del horizonte P (de 20 a 40 cm).

El aumento superficial se hace algo más patente en los chirpiales, lo cual podría ser causado por el desfronde masivo, provocado por el aprovechamiento de la fase brizal.

Para el potasio (K-ppm) en el suelo

El K es un elemento bastante móvil y generalmente escaso en los suelos forestales, por lo cual resulta muy importante la actividad de la vegetación, para que lo capture a medida que se va liberando por la mineralización de la MO de los desfrondes. La escasez de este nutriente suele ser compensada con fertilización, por lo que la evolución de su concentración puede verse modificada bruscamente.

Las diferencias medias entre las distintas cubiertas forestales son poco importantes para el K; este nutriente parece aumentar en las plantaciones semi-intensivas, si bien, como se ha indicado, pueden existir restos de antiguas fertilizaciones que enmascaren los resultados.

Dentro de las parcelas de estudio no se han apreciado saltos nutritivos, si bien la presencia de K es mayor en los chirpiales, por lo que se podría haber producido una fertilización después de la corta, o bien se trata de un retorno natural de los desfrondes, como ocurre para Ca y Mg.

En cualquier caso, no se aprecian cambios significativos en los contenidos en K, aspecto positivo, dado que se trata de un nutriente fundamental.

6 Conclusiones

El trabajo desarrollado establece un sólido punto de partida para un análisis de la sostenibilidad de las plantaciones de eucalipto a medio y largo plazo. Gracias a la labor realizada se dispone de un sistema de parcelas situadas sobre los suelos que más frecuentemente acogen plantaciones de eucalipto; son suelos pobres en nutrientes y con una calidad forestal entre intermedia y baja, por lo que obtener una producción rentable y sostenible en el aspecto económico y ecológico es un reto para sus gestores.

En el seguimiento realizado con muestreos en el año 2011 y 2019 se ha apreciado que el balance de nutrientes de estos suelos no ha sufrido impactos significativos, más aún, se aprecia una notable estabilidad en el equilibrio nutritivo del sustrato.

El principal impacto causado por las plantaciones de eucalipto sobre el suelo es la desorganización de los perfiles edafológicos por causa de los aterrazamientos. Esta operación puede considerarse como un importante *input* energético que realiza el hombre para poder llevar a cabo la producción forestal de forma rentable y sostenible; permite una mayor retención del agua y reduce las pérdidas por erosión, además de proporcionar una plataforma de cultivo que facilita también la mecanización de aprovechamientos y otras labores. Los horizontes perturbados por el aterrazamiento experimentan a posteriori una evolución bastante favorable, ya que la reducción de la pendiente facilita la infiltración de agua y, con ello, los procesos de meteorización y reorganización de horizontes edafológicos. También se debe tener en cuenta que la mayor parte de las plantaciones de eucalipto y de pino se han desarrollado sobre terrenos muy degradados, con una calidad ecológica de sus suelos muy disminuida por la recurrencia de incendios, sobrepastoreo y erosión, por lo que el patrimonio potencialmente perdido con la perturbación de esos perfiles edafológicos degradados es escaso.

Se debe mantener un seguimiento sobre los equilibrios ecológicos de estas plantaciones forestales, para garantizar su sostenibilidad, por lo que se recomienda un seguimiento decenal del estado nutritivo de los suelos, preferentemente en los mismos puntos de referencia donde se ha realizado el presente trabajo.

7 Referencias

BADILLO, V.; BARTOL, G.; CASTRO, R.; CABALLERO, M.; FUENTENE BRO, E.; GONZÁLEZ, J.; GUZMÁN, J. R.; JEREZ, A.; LÓPEZ, J.; MARTÍN DE ALMAGRO, R.; MONTERO, R.; MORALES, J. I.; ORTIZ, V.; PRIETO, M. E.; RANCHAL, L. A.; ROJAS, D.; ROMERO, M.; SALAS, F.; SANCHO, A.; ... WARLETA, A.; 2012. *Biomasa forestal en Andalucía. 2. Procesos de extracción y costes*. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. https://www.researchgate.net/publication/301748244_Biomasa_forestal_en_Andalucia_2_Procesos_de_extraccion_y_costes#fullTextFileContent [accessed Jun 25 2021]

CABRERA, M.; VERA, A.; CORNEJO, J. M.; ORDÁS, I.; TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; MARTÍNEZ, I.; S., V.; HOTAÍT, N.; LAFARGA, A. & GARRAZA, J. A.; 2011. *Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudios Técnicos PER 2011-2020 nº 14*. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

DOMINGO-SANTOS, J. M.; FERNÁNDEZ DE VILLARÁN SAN JUAN, R.; CORRAL-PAZOS-DE-PROVENS, E. & RAPP-ARRARÁS, I.; 2006. Estimation of water retention capacity in soil: corrections to the CRA pedotransfer formula. *Investig. Agrar. Sist. y Recur. For.*, 15(1), 14. <https://doi.org/10.5424/srf/2006151-00950>

DOMINGO-SANTOS, J. M.; 2002. *Caracterización de los suelos forestales de la provincia de Huelva* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/811/>

DOMÍNGUEZ, M. T.; 1986. *Influencia de nutrientes y polifenoles vegetales en humificación de la hojarasca de especies autóctonas e introducidas de la provincia de Huelva*. Colecc. Tesis Doctorales INIA nº 69.

ENCE; 2014. *Manual de proceso de selvicultura para Eucalyptus globulus*. Documento interno.

EUFRADE JUNIOR, H. J.; MELO, R. X. DE; SARTORI, M. M. P.; GUERRA, S. P. S. & BALLARIN, A. W.; 2016. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. 90, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.037>

FERNÁNDEZ, M.; ALAEJOS, J.; ANDIVIA, E.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; RUIZ, F.; LÓPEZ, F. & TAPIAS, R.; 2018. Eucalyptus x urograndis biomass production for energy purposes exposed to a Mediterranean climate under different irrigation and fertilisation regimes. 111, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.01.020>

FLORES, C.; 1962. *El eucalipto en Andalucía*. Ministerio de Agricultura. Dirección general de coordinación crédito y capacitación agraria.

Gandullo, J.M.; 1994. *Climatología y Ciencia del Suelo*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; HOSPIDO, A.; MOREIRA, M. T.; ROMERO, J. & FEIJOO, G.; 2009. Environmental impact assessment of total chlorine free pulp from Eucalyptus globulus in Spain. *J. Clean. Prod.*, 17(11), 1010–1016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.02.017>

GONZÁLEZ, E.; PENALVA, F. & GÓMEZ, C.; 1985a. Concentración foliar de nutrientes en Eucalyptus globulus según el tratamiento fertilizante y época de su aplicación. In *Anales del I.N.I.A. Serie Forestal 9* (pp. 47–55). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

GONZÁLEZ, E.; PENALVA, F. & GÓMEZ, C.; 1985b. Distribución del nitrógeno en el perfil del suelo de plantaciones de Eucalyptus globulus, según la época de aplicación del fertilizante y tipo de suelo. In *Anales del I.N.I.A. Serie Forestal 9* (pp. 57–62). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

GONZÁLEZ, E.; PENALVA, F. & GÓMEZ, C.; 1985c. Exigencias nutritivas de Eucalyptus globulus en el SO español comparadas con las de otras especies. In *Anales del I.N.I.A. Serie Forestal 9* (pp. 63–74). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

GUITIÁN, F. & CARBALLAS, T.; 1976. *Técnicas de Análisis de suelos* (P. Sacro (ed.)).

IGME; vv.aa. (varios años) Mapa Geológico de España (MAGNA), varias hojas de la provincia de Huelva, E. 1:50.000. Instituto Geológico y Minero de España

IUSS WORKING GROUP WRB; 2015. *World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources No. 106: Vol. World Soil.* FAO.

JHA, P. & PRASAD MOHAPATRA, K.; 2010. Leaf litterfall, fine root production and turnover in four major tree species of the semi-arid region of India. *Plant Soil*, 326(1-2), 481-491. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0027-9>

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B. & RUBEL, F.; 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>

KUMAR, A.; SINGH, U. M.; MANOHAR, M. & GAUR, V. S.; 2015. Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism(s) of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification. *Acta Physiol. Plant.*, 37(1), 1722. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1722-6>

LÓPEZ, M.; 1991. Ciclo biológico de los elementos biogénicos en una plantación de *Eucalyptus globulus* del SO de España. *For. Syst.*, 0(1), 75-91.

MARSCHNER, P.; 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (H. Marschner (ed.); 3rd ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>

MARTÍN, M.; 1946. *Impresiones comentadas sobre los eucaliptos de Sierra Cabello*. Instituto Forestal de Investigaciones Forestales.

MERINO, A.; BALBOA, M. A.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R. & GONZÁLEZ, J. G. Á.; 2005. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. *For. Ecol. Manage.*, 207(3), 325-339. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.074>

PARDO, M.; 1990. Forestry management of a Spanish *Eucalyptus globulus* area based on continuous forest inventory. *Bull. Des Rech. Agron. Gembloux*, 25(1), 77-90.

PARROTTA, J. A.; 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *For. Ecol. Manage.*, 124(1), 45-77. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00049-3)

PÉREZ-CRUZADO, C.; MERINO, A. & RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2011. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain. 35(7), 2839-2851. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.020>

PORTA CASANELLAS, J.; LÓPEZ-ACEVEDO REGUERIN, M. & ROQUERO DE LABURU, C.; 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3rd ed.). Mundi-Prensa.

RAMESH, T.; MANJAIH, K. M.; TOMAR, J. M. S. & NGACHAN, S. V.; 2013. Effect of multipurpose tree species on soil fertility and CO₂ efflux under hilly ecosystems of Northeast India. *Agrofor. Syst.*, 87(6), 1377–1388. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9645-6>

RISI; 2013. *Global Review of Dedicated Woody Biomass Plantations: Current Situation and Outlook to 2020*. Produced for JOPP By RISI. http://www.jopp.or.jp/research_project/cdm/2013/pdf/cdm2013e.pdf

RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; EIMIL-FRAGA, C.; GÓMEZ-GARCÍA, E.; GARCÍA-VILLABRILLE, J. D.; ROJO-ALBORECA, A.; MUÑOZ, F.; OLIVEIRA, N.; SIXTO, H. & PÉREZ-CRUZADO, C.; 2018. Exploring the factors affecting carbon and nutrient concentrations in tree biomass components in natural forests, forest plantations and short rotation forestry. *For. Ecosyst.*, 5(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0154-y>

RUIZ, F. & LÓPEZ, G.; 2010. Review of cultivation, History and Uses of Eucalypts in Spain. In W. E. T. L. Gil E. Tolosana and R. López (Ed.), *Eucalyptus Species Management, History, Status and Trends in Ethiopia* (pp. 13–28).

RUIZ, F.; LÓPEZ, G.; TOVAL, G. & ALEJANO, R.; 2008. Selvicultura de *Eucalyptus globulus* Labill. In R. Serrada, G. Montero, & J. A. Reque (Eds.), *Compendio de Selvicultura Aplicada en España* (pp. 117–154). INIA. Fundación Conde del Valle de Salazar.

RUIZ, F.; SORIA, F. & TOVAL, G.; 1997. Ensayos de fertilización localizada de masas clonales de *Eucalyptus globulus* en el momento de la plantación en la provincia de Huelva. *I Congr. For. Hisp. Luso. II Congr. For. Español, Mesa 3*, 585–590.

RUIZ, F.; SORIA, F.; TOVAL, G. & PARDO, M.; 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. *IUFRO Conf. Eucalypts Futur. Vald. Chile, 10-15 Septiembre*.

SÁNCHEZ GULLÓN, E.; CARABALLO MARTÍNEZ, J. & RUÍZ, F.; 2009. Los arboretos históricos de eucaliptos de Huelva: una visión histórica y estado actual de conservación. *6(1789)*, 115–133.

SILVA-PANDO, F. J.; 2021. *Eucalyptus in South Europe*. In *Invasive Alien Species* (pp. 278–316). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119607045.ch33>

SIPNA; 2020. *Sistema de Información sobre el Patrimonio Natural de Andalucía*. REDIAM (Red de Información Ambiental de Andalucía). https://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F01_CARACTERIZACION_TERRITORIO%2F08_SIPNA%2FSIPNA_Pub2020

SORIA, F. & LÓPEZ, G. A.; 2014. Propagación vegetativa de *Eucalyptus globulus*. In R. Ipinza, S. Barros, B. Gutiérrez, & P. Borralho Nuno (Eds.), *Mejoramiento genético de eucaliptos en Chile* (pp. 159–168). INFOR Instituto Forestal Chile, FIA Fundación Innovación Agraria.

TOVAL, G.; 1999. Selvicultura de los eucaliptos. In A. Madrigal (Ed.), *Ciencias y Técnicas Forestales. 150 años de aportaciones de los Ingenieros de Montes* (pp. 313–339). Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSI Montes.

TOVAL, G.; 2004. The *Eucalyptus globulus* clonal silviculture in Mediterranean climate. In N. M. G. Borralho, J. S. Pereira, C. Marques, J. Coutinho, M. Madeira, & Tomé (Eds.), *International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalyptus* (pp. 70–78).

URBANO TERRÓN, P. 1989. *Fitotecnica*. Mundi Prensa

VIERA, M.; RUÍZ FERNÁNDEZ, F. & RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2016. Nutritional Prescriptions for Eucalyptus Plantations: Lessons Learned from Spain. 7(12), 84. <https://doi.org/10.3390/f7040084>

WALKLEY, A. & BLACK, I. A.; 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

WALTER, H. & LIETH, H.; 1967. *Klimadiagramm-Weltatlas*. Gustav Fischer.

WHITE, P. J. & BROADLEY, M. R.; 2003. Calcium in Plants. *Ann. Bot.*, 92(4), 487–511. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>