



9CFE-1620

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza



Elaboración de un mapa de clases litológicas de interés forestal para Galicia y la Cornisa Cantábrica

PILAR GARCÍA-MANTECA (1), JORGE MARQUÍNEZ (1) (2), ROSANA MENÉNDEZ DUARTE (1) (2), CARLOS ANTONIO LÓPEZ-SÁNCHEZ (3), MARCOS BARRIO-ANTA (3)

(1) Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT), Campus of Mieres, Universidad de Oviedo, Campus Universitario de Mieres, C/Gonzalo Gutiérrez Quirós S/N, 33600 Mieres, España.

(2) Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco s/n 33005 Oviedo, España.

(3) Grupo de Investigación SMartForest. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo, Campus Universitario de Mieres, C/Gonzalo Gutiérrez Quirós S/N, 33600 Mieres, España.

Resumen

La litología es el principal factor que determina las propiedades de los suelos forestales, siendo esta una variable clave para elaborar modelos de productividad forestal a partir de variables ambientales. Actualmente se dispone del Mapa Geológico de España (MGE) a escalas 1:1.000.000 y 1:50.000. El primero presenta una resolución insuficiente para elaborar modelos de alta resolución espacial, mientras el segundo presenta información detallada, pero poco útil desde el punto de vista de la productividad forestal. Para elaborar una cartografía más útil se utilizó la información de la cartografía geológica digital continua del MGE a escala 1:50.000 y la cartografía de usos del suelo del Sistema de Información de Ocupación de Suelos de España (SIOSE) a escala 1:25.000. La información geológica de base se reclasifica según criterios de interés para la productividad forestal, como el origen de la roca, la acidez, la capacidad de meteorización, presencia de depósitos superficiales, y finalmente se superpone la información de acantilados, roquedos y canchales del SIOSE. El resultado es un mapa de 19 grupos litológicos, de los que se espera un comportamiento similar para el crecimiento vegetal y que pretende servir como información base para construir modelos de productividad forestal.

Palabras clave

Litología, productividad forestal, norte de España, cartografía, ráster

1. Introducción

Según PATERSON (1956), la productividad potencial de las estaciones forestales está controlada primariamente por factores relacionados con el clima, como la

cantidad de radiación solar que llega al suelo, la cantidad de agua disponible para los procesos vitales y la duración del período vegetativo (período donde los recursos térmicos y lumínicos son favorables al crecimiento) (DIODATO & BELLOCCHI, 2020). Sin embargo, además del clima, la litología es el otro factor determinante de la productividad potencial forestal debido a que el material litológico o parental ejerce gran influencia en la formación del suelo y en sus propiedades fisicoquímicas al proporcionar la materia prima de partida, ya sea lecho rocoso u otro material no consolidado, sobre el cual actuarán los procesos pedogénicos para crear un suelo particular (BUOL et al., 2011). No en vano, el suelo ha sido descrito de forma simplista como el producto residual de la desintegración física y la descomposición química de las rocas (GRAY et al., 2016), aunque este es también en gran parte resultado de la acción de factores bióticos.

Algunas propiedades de los suelos claramente influenciadas por el material litológico de partida son (SÁNCHEZ PALOMARES y SÁNCHEZ SERRANO, 2000): la pedregosidad, la textura, la fertilidad potencial, el pH y la presencia de caliza activa. Sin embargo, otros factores del terreno (pendiente, altitud, orientación, etc.) o la climatología dan lugar a sustratos diferenciados a partir de materiales parentales similares, algunos de ellos con efectos bastante limitantes para la vegetación, como los suelos encharcados o los esqueléticos. Así, la pedregosidad del suelo depende de la pedregosidad intrínseca de la litofacies (p. ej. aluviones, gravas, arenales) y de su facilidad para disgregarse, bien sea en función de su grado de consolidación original (competencia), de su estructura, o de su comportamiento ante ataques químicos. Al igual que en el factor anterior, la textura del suelo resultante dependerá de un factor intrínseco de la litofacies original (tamaño de grano), y de otro factor externo, como es la facilidad de alteración de sus componentes. En este sentido, algunas litologías pueden ser limitantes cuando afloran en suelos poco desarrollados, como conglomerados masivos (rocas impermeables que además dan lugar a suelos gravosos, con poca capacidad de retención de agua), las evaporitas (tizas) o los afloramientos de margas o arcillas. La fertilidad potencial del suelo dependerá de la presencia de macronutrientes en la roca y de su persistencia durante los procesos de formación del suelo, así como de la ausencia de elementos limitantes de los procesos bióticos, como sales solubles (yeso, sal gema, etc.) (SÁNCHEZ PALOMARES y SÁNCHEZ SERRANO, 2000) o elementos potencialmente tóxicos. Así, la presencia de rocas ultrabásicas como las serpentinas dan lugar a suelos de baja fertilidad y productividad y altas concentraciones en metales, algunos potencialmente tóxicos para gran parte de la vegetación (PEÑA CORDERO, 2004). En general, la reacción del suelo depende en gran medida de la roca madre y es un factor limitante cuando no es el adecuado según las preferencias de algunas especies forestales. Sin embargo, el clima también es bastante determinante en el pH de los suelos y en la posible presencia de caliza activa. Así, en climas húmedos, al favorecerse la descarbonatación, los suelos procedentes de litofacies calizas reducen la presencia de caliza activa en sus suelos, y dan lugar a pH neutros o moderadamente ácidos. Las litofacies silíceas, por el contrario, serán de peor calidad, por su mayor acidez, que puede verse muy incrementada si se generalizan los procesos de lavado (SÁNCHEZ PALOMARES y SÁNCHEZ SERRANO, 2000).

La litología es por tanto un factor clave que afecta a las propiedades de los suelos

forestales y, por tanto, puede ser una variable explicativa relevante para la construcción de modelos de productividad forestal a partir de variables ambientales. La litología existente en una localización particular puede identificarse a pie de rodal o con la cartografía litológica disponible. El primer método es útil para llevar estudios donde se pretende comprobar la influencia de la litología en otras variables de los suelos o de la presencia o desarrollo de comunidades o especies vegetales; en cambio, el segundo es el más práctico cuando se pretende utilizar esta información como variable de entrada a modelos predictivos espacialmente continuos.

En el norte de España, la litología es muy diversa, y para su consideración disponemos actualmente del Mapa Geológico Español (MGE) en dos escalas diferentes (escala 1:1.000.000 y 1:50.000). El primero presenta una resolución espacial insuficiente para desarrollar mapas de productividad forestal de alta resolución. Por el contrario, el segundo presenta información geológica muy detallada (más de 1.100 clases geológicas en el área de estudio), muy útil desde un punto de vista geológico y minero, pero mucho menos desde una perspectiva de productividad forestal. Esto se debe a que muchas clases suelen presentar una respuesta de crecimiento de la vegetación similar y, por tanto, se deben reclasificar en nuevos grupos para que sean significativas para el propósito de relacionarlos con la productividad forestal.

Para tratar de superar este problema, es necesario elaborar un mapa específico de clases litológicas, reclasificando la información del MGE 1:50.000 en función de su acidez, su competencia o su tipología en el caso de depósitos cuaternarios. Además, a cada unidad geológica también se le puede asignar su origen principal y también se le puede superponer las rocas, canchales y acantilados obtenidos a partir de la cartografía del Sistema de Información de Coberturas y Usos del Suelo de España, SIOSE (escala 1:25.000) para localizar los suelos esqueléticos.

2. Objetivos

El objetivo del trabajo ha sido reclasificar los cientos de clases litológicas del Mapa Geológico de España (1:50.000) para las cuatro regiones cántabro-atlánticas (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) en unos pocos grupos, de acuerdo con algunas propiedades específicas que de ellos se derivan y que afectan o condicionan la productividad forestal.

3. Metodología

3.1. Área de estudio y datos de partida

El área de estudio abarcó cuatro regiones del norte de España (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco), que ocupa una superficie total de 5,2 millones de ha y se encuentra principalmente en la Región Biogeográfica Atlántica Europea, excepto el sureste de Galicia que pertenece a la Región Biogeográfica Mediterránea (RIVAS-MARTÍNEZ et al., 2004). La pertenencia a la misma región biogeográfica confiere al territorio unas características ambientales con cierta homogeneidad y la composición litológica del sustrato es determinante para explicar el

comportamiento de la vegetación en condiciones topográficas semejantes.

Para la construcción del mapa de clases litológicas de interés forestal se han utilizado dos capas de información georreferenciadas: GEODE (IGME, 2024) y SIOSE (IGN, 2014).

El GEODE es la cartografía geológica digital continua de España a escala 1:50.000 que se elaboró a partir de la serie preexistente MAGNA E. 1:50.000, mejorada con cartografías geológicas más recientes realizadas por el IGME y por otras instituciones (como la Universidad de Oviedo y otras), procedentes de tesis de licenciatura y doctorales y otros trabajos de investigación, tanto publicados como inéditos. El GEODE busca dotar de continuidad cartográfica a las hojas geológicas de la serie MAGNA y generar una leyenda unificada de unidades geológicas para cada región. Para ello se ha adecuado la cobertura geológica a una base topográfica uniforme, generada específicamente para el PLAN GEODE a partir del mapa topográfico nacional 1:25.000 del IGN. La cartografía GEODE es la representación de las distintas formaciones litoestratigráficas, definidas de acuerdo con en base a sus características litológicas, estratigráficas, estructurales, de edad, etc. En este momento está disponible la mayor parte del territorio nacional a excepción de la zona NE (Cataluña). Para este trabajo se han utilizado las siguientes zonas: Z 1000 Cantábrica (MERINO-TOME et al 2014), Z 1100 Astur occidental Leonesa (GONZÁLEZ MENÉNDEZ et al 2008), Z 1200 Galicia Tras-os-Montes (DÍEZ MONTES, et al 2011), Z 1300 Centroibérica dominio Ollo de Sapo (RUBIO PASCUAL et al 2011) y Z 1600 Pirineos-Vascocantábrica (ROBADOR MORENO et al., 2011). Estas zonas unidas previamente, se han recortado para la zona que define el área de estudio, para tener una única capa que tiene más de 42.000 polígonos y de 1.100 unidades geológicas.

El SIOSE es el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, que está integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT) cuyo objetivo es generar una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España a escala de referencia 1:25.000. El SIOSE se produce por CCAA en sistema geodésico de referencia ETRS89 y sistema cartográfico de representación UTM y el huso mayoritario de la CCAA y tiene un modelo de datos multiparámetro, orientado a objetos, de forma que un único polígono tiene asignadas diferentes ocupaciones y porcentajes. Para este trabajo se han extraído todos los polígonos SIOSE con algún porcentaje de recubrimiento de las clases 351 (roquedos), 352 (canchales) y 353 (acantilados) de las coberturas: 03 Asturias, 07 Castilla-León, 06 Cantabria y 12 Galicia. El resultado de esta selección de atributos y unión de capas se ha recortado por la capa ámbito, disponiéndose de más de 23.500 polígonos, para la zona de trabajo, más 17.400 con coberturas superiores al 5% de roquedos canchales y acantilados. En su mayor parte se trata de polígonos de pequeña superficie.

3.2. Procesado

Se ha diferenciado el procesado llevado a cabo en cada una de las dos fuentes de información usadas en este estudio: GEODE y SIOSE.

3.2.1. Capa GEODE

Para cada zona GEODE se construye una tabla con las descripciones litológicas únicas de la zona, de manera que un registro de la tabla se asigna a múltiples polígonos con la misma descripción litológica. La variedad litológica del sustrato geológico de la zona de estudio es muy amplia, sin embargo, todas las formaciones que lo componen se han agrupado o reclasificado en un número muy reducido de clases atendiendo a dos criterios: 1) el carácter ácido o básico de las rocas y 2) su resistencia a la meteorización física y química. Esta agrupación permite reducir el número de clases para su uso en la interpretación de la distribución de especies vegetales.

El carácter ácido o básico de las distintas unidades geológicas controla en gran medida las características de los suelos, y la disponibilidad de nutrientes, lo que condiciona la afinidad de las plantas por uno u otro tipo de sustrato (BALSTRØM et al. 2013, SIMON et al. 2021). Así, las diferentes descripciones geológicas se han agrupado por su acidez en las siguientes categorías:

- **Unidades ácidas:** agrupan a las formaciones sedimentarias o metamórficas silíceas y a las rocas ígneas ácidas.
- **Unidades básicas:** agrupa a las formaciones sedimentarias o metamórficas principalmente margas, calizas, mármoles y las rocas ígneas básicas y ultrabásicas.
- **Unidades mixtas:** que agrupan a las formaciones de cualquier origen con alternancia de rocas ácidas y básicas.
- **Unidades indiferenciadas:** donde la descripción de la unidad no permite obtener información sobre su pH.

Por otra parte, la mayor o menor susceptibilidad a la meteorización controlará varios aspectos importantes en el desarrollo edáfico. En líneas generales, una roca fácilmente meteorizable tarda menos tiempo en desarrollar un manto de meteorización que es el inicio de la formación de un suelo, además en estos materiales la meteorización química será más eficaz y los suelos serán más ricos en minerales arcillosos. Por ello, cada uno de estos grupos se divide, por su competencia o resistencia a la meteorización, en tres clases:

- **Muy competentes:** resistentes a la meteorización.
- **Meteorización intermedia:** de susceptibilidad intermedia a la meteorización.
- **Muy meteorizables.**

Además de los diferentes tipos litológicos, las rocas existentes en las zonas geológicas incluidas en el área de estudio presentan diferentes orígenes, existiendo rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. Es importante considerar el origen en la clasificación ya que entre otras cosas es conocido que el comportamiento edáfico de las unidades ígneas a menudo difiere de las metamórficas o sedimentarias con el mismo grado de acidez o competencia (WEIL & BRADY, 2016; BOUL *et al.* 2011). Por ello se han agrupado las rocas por su origen principal, distinguiendo estas en:

- **Rocas Ígneas**
- **Rocas metamórficas**
- **Rocas sedimentarias**
- **Rocas metaígneas** (rocas procedentes de la metamorfosis de rocas ígneas)
- **Rocas mixtas** (metamórficas y sedimentarias).

Las rocas sedimentarias son las más abundantes, especialmente en las zonas más orientales: Zona de Pirineos-Vascocantábrica y Zona Cantábrica. Hacia el occidente, a partir de la Zona AsturOccidental Leonesa comienzan a aparecer rocas metamórficas y rocas ígneas, estas últimas especialmente frecuentes en las zonas de Galicia Tras-os-Montes y Centroibérica dominio Ollo de Sapo.

Además de las rocas del sustrato geológico, que son materiales litificados y con una larga historia geológica, en la cartografía GEODE aparecen algunos depósitos superficiales (generalmente de edad cuaternaria) que corresponden a los depósitos dejados por los ríos, desarrollados por erosión en las laderas o heredados de los sistemas glaciares cuaternarios. Aunque estas unidades están poco representadas en el GEODE, las existentes se han considerado en unidades diferenciadas, ya que el desarrollo edáfico es más rápido sobre estos depósitos no litificados. La mayoría de estos depósitos han sido clasificados como ácidos, básicos o mixtos, dependiendo del sustrato sobre el que se desarrollen, mientras que algunos tipos como turberas, litorales o aluviales no han sido clasificados según este criterio y constituyen clases independientes, agrupadas como depósitos indiferenciados.

3.2.2. Capa SIOSE

Los suelos esqueléticos o desnudos no pueden extraerse directamente de la composición litoestratigráfica; sin embargo, constituyen una importante limitación para el sustento de las plantas. Para obtener esta información, de forma homogénea, para toda la zona de estudio, hemos utilizado los datos SIOSE para obtener una capa vectorial de forma que cada polígono de la capa contiene tres atributos con el porcentaje de roquedos, canchales y acantilados (información SIOSE) y dos nuevos atributos: *PerTot* con la suma de los porcentajes de cualquiera de los anteriores y *TipoSIOSE* al que se asigna un código, siempre que porcentaje total sea mayor del 5%, para identificar el tipo dominante.

3.2.3. Obtención de clases litológicas de interés forestal

Finalmente, la clasificación se realiza utilizando todas o algunas de estas categorías anteriores para obtener las diferentes clases litológicas. La primera división atiende a la acidez del sustrato; posteriormente a los diferentes niveles de acidez de roca se añade la competencia de la roca, es decir su mayor o menor facilidad para meteorizarse y por tanto disgregarse, facilitando la formación de suelo, además, se han identificado las rocas ígneas o metaígneas de las metamórficas y sedimentarias, dado que presentan diferencias edafológicas en

niveles parecidos de acidez y meteorización. Por último, se han superpuesto los roquedos, canchales y acantilados para localizar áreas donde los suelos esqueléticos son frecuentes.

4. Resultados

4.1. Clasificaciones previas en la zona de estudio

En la primera aproximación podemos separar las rocas por su origen ígneo, sedimentario o metamórfico, separando además las metamórficas de origen ígneo y las formaciones mixtas (sedimentarias y metamórficas) y superponiendo los depósitos superficiales independientemente del origen de los clastos o matriz. Según esta división tenemos una dominancia de rocas sedimentarias y metamórficas siendo el 65% de la superficie total, mientras que las ígneas y metaígneas representan solo el 27 % de la superficie total y se encuentran principalmente en la zona occidental (Figura 1).

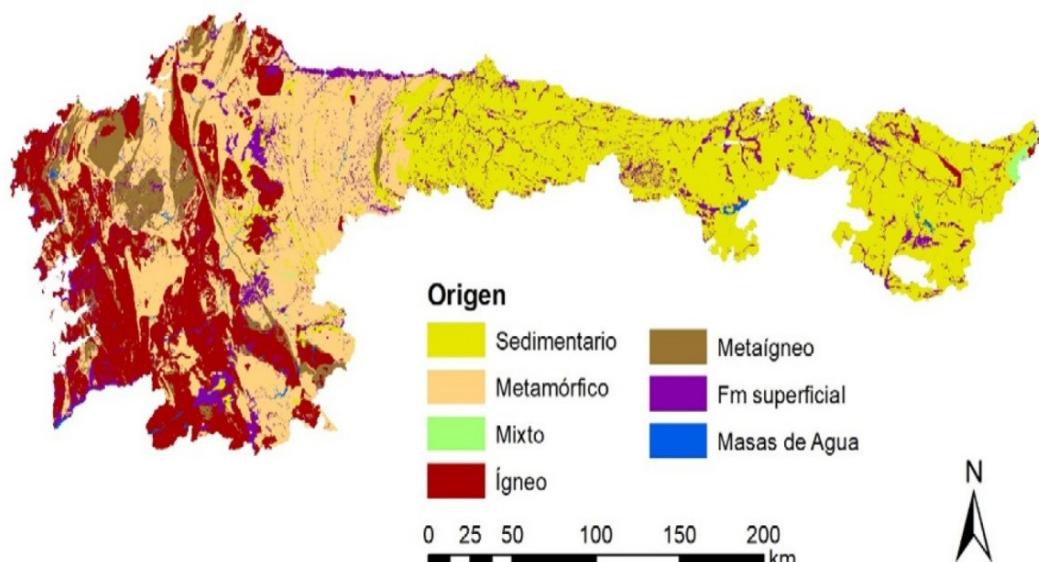


Figura 1. Clasificación de los grupos litoestratigráficos según su origen principal.

Si expresamos el resultado de la clasificación según su acidez, se observa que hacia el este predominan las rocas básicas, fundamentalmente litologías calizas, mientras que hacia el oeste dominan las rocas más acidas asociadas a litologías silíceas principalmente. La zona centro-oriental de Asturias tiene una dominancia de rocas mixtas, aunque la alternancia de formaciones mixtas, silíceas y calizas es muy evidente. Los depósitos se han representado juntos independientemente de su litología dominante (Figura 2).

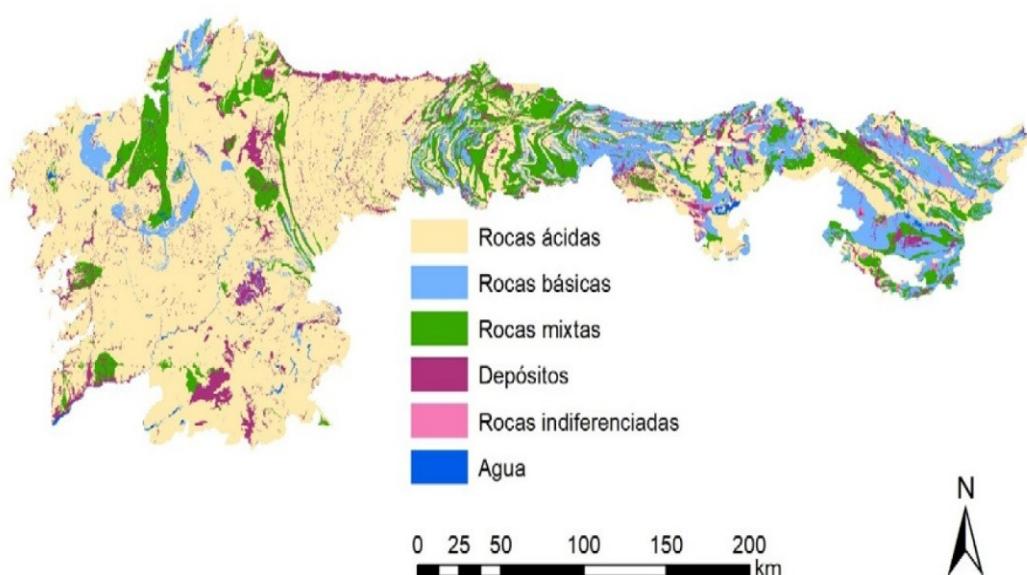


Figura 2. Clasificación de los grupos litoestratigráficos según acidez o alcalinidad.

La representación de los suelos esqueléticos, obtenidos a partir del SIOSE, puede verse en la Figura 3. Aunque pueden existir acantilados no costeros, la mayoría de ellos están ligados a la línea de costa y están representados en unas 6.300 ha. Los polígonos seleccionados con canchales dominantes ocupan más de 28.000 ha, son casi inexistentes en Galicia y especialmente abundantes en Cantabria y Asturias, sobre todo en el occidente (Ibias, Degaña...) y sobre litologías silíceas. Los polígonos con afloramiento rocoso dominante ocupan casi 440.000 ha y se distribuyen por todo el territorio siendo más frecuentes en zonas de fuerte relieve.

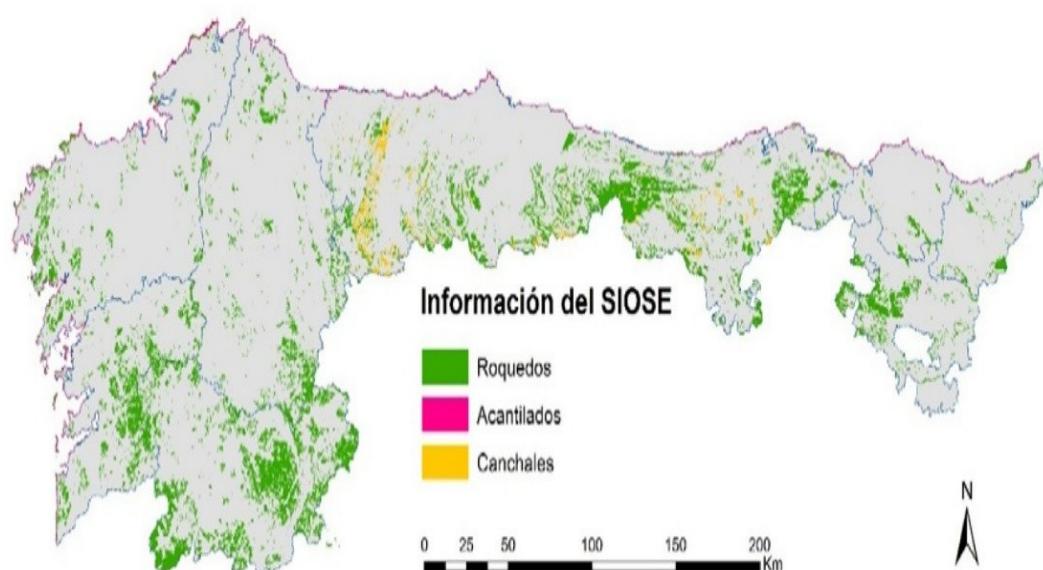


Figura 3. Polígonos de roquedos, canchales o acantilados extraídos de la cartografía SIOSE 2014.

4.2. Mapa de clases litológicas de interés forestal

El resultado de todo el proceso anterior es una capa vectorial de clases litológicas de interés forestal del territorio cantábrico que aglutina en 20 clases toda la información analizada, (acidez y competencia de la roca, su origen y el porcentaje y tipo de áreas con roquedo). Este modelo vectorial se convierte en matricial de 25x25 m de tamaño de celda. El formato matricial facilita su uso combinado con otra información, como la derivada de las variables del terreno, que tienen también gran importancia en la distribución y crecimiento de las especies forestales.

El resultado final es el primer modelo espacialmente explícito de clases litológicas de interés forestal de la zona cantábrica de España. El modelo responde a la simplificación de las cualidades geológicas del territorio resumidas en este trabajo y simplifica las más de 800 unidades iniciales, correspondientes a las diferentes descripciones litológicas de cada zona, en 20 clases de la potencialidad edáfica que responde a las siguientes descripciones:

1. Suelos ácidos

1.1. **Rocas ácidas muy competentes:** son rocas principalmente de origen sedimentario o metamórfico (cuarcitas, cuarzoarenitas, conglomerados y brechas cuarcíticos, esquistos) aunque se incorporan aquí también las escasas representaciones en la zona de rocas ígneas muy competentes (cuarzo, diques cuarcíticos o graníticos).

1.2. **Rocas ácidas de meteorización intermedia ígneas o metaígneas:** proceden de rocas ígneas como granitos y granitoides, dioritas y granodioritas migmatitas y también de rocas metaigneas como gneises, ortogneises, paragneises.

1.3. **Rocas de meteorización intermedia sedimentarias o metamórficas:** proceden de rocas sedimentarias o metamórficas como areniscas, lutitas y esquistos arenosos.

1.4. **Rocas ácidas muy meteorizables:** principalmente sedimentarias o metamórficas silíceas (algunas pizarras y areniscas, esquistos, lutitas, arcillas, etc.).

1.5. **Depósitos de composición silícea o ácida:** formaciones superficiales de composición silícea o ácida.

2. Suelos alcalinos o básicos

2.1. **Rocas básicas competentes ígneas o metaígneas** como coladas o brechas volcánicas, lampórficos, dioritas, serpentinitas. Anfibolitas, gabros metagabros y otras.

2.2. **Rocas básicas competentes sedimentarias o metamórficas**, como calizas y dolomías o conglomerados y brechas calcáreas.

2.3. **Rocas básicas meteorizables** principalmente sedimentarias: como margas, calcarenitas o calizas arenosas. De escasa aparición se incluyen aquí otras procedentes de rocas ígneas o metaigneas como algunos diques máficos, vulcanitas básicas.

2.4. **Rocas ultrabásicas:** son rocas ígneas y meta-ígneas con muy bajo contenido

en sílice y que están compuestas principalmente de minerales básicos (habitualmente más del 90%).

2.5. Depósitos básicos: formaciones superficiales de composición calcárea o básica

3. Suelos mixtos (con alternancia de rocas ácidas y básicas):

3.1. Formaciones mixtas ígneas o metaígneas: formaciones geológicas con alternancia de rocas ígneas o metamórficas de origen ígneo de diferente grado de acidez.

3.2. Formaciones mixtas sedimentarias o metamórficas: formaciones geológicas con alternancia de rocas silíceas y calcáreas, sedimentarias o metamórficas.

3.3. Depósitos mixtos: cualquier deposito proveniente de las formaciones que originan los suelos mixtos.

4. Depósitos de pH no diferenciado

4.1. Aluviales: depósitos aluviales, originados por la sedimentación fluvial de clastos (generalmente silíceos), frecuentes en las zonas de vega.

4.2. Indiferenciados: turberas, rellenos de depresión, coluviones indiferenciados, depósitos litorales...

4.3 Antrópicos. zonas urbanas e industriales y otras áreas degradadas.

5. Otros sustratos no diferenciados

5.1. Evaporitas: principalmente yesos y halitas.

5.2. Rocas volcánicas indiferenciadas: rocas de origen volcánico cuya descripción impide clasificarlas como ácidas o básicas.

5.3. Roquedos.

5.4. Agua.

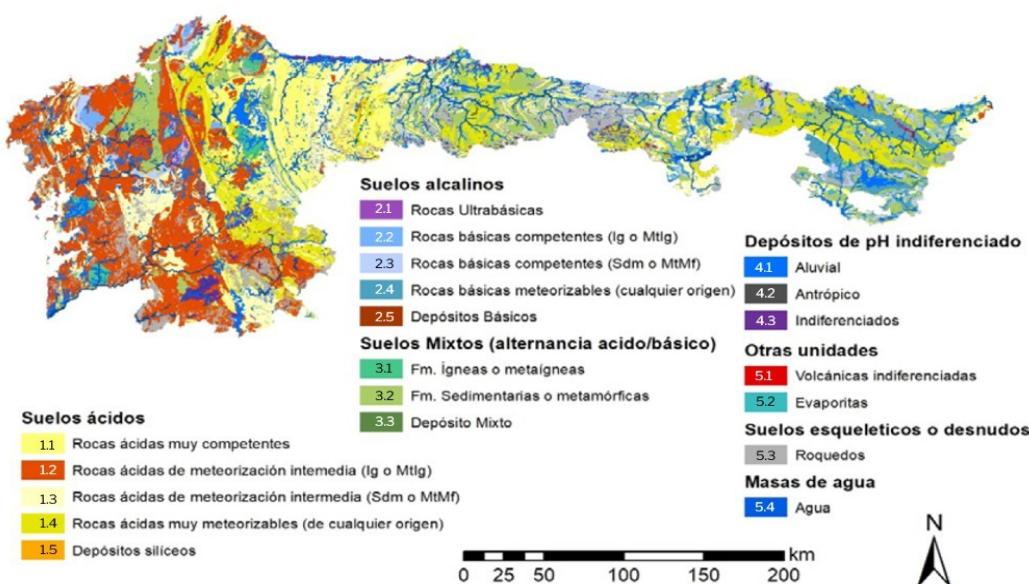


Figura 4. Resultado del mapa de clases litológicas de interés forestal para Galicia y

la Cornisa Cantábrica.

5. Discusión

La finalidad principal de la reclasificación de clases litológicas obtenida en este trabajo ha sido contribuir como posible variable explicativa a la elaboración de modelos de productividad de especies forestales en función de variables ambientales espacialmente continuas. El interés por cuantificar la productividad forestal a nivel suprarregional o nacional es un tema antiguo y se ha abordado desde un punto de vista únicamente climático o desde un punto de vista combinado climático-terreno, donde la litología es un factor determinante. Ejemplos de esfuerzos del primer tipo son el índice de Paterson (PATERSON, 1956) o del índice de Paterson modificado por SERRADA (1976), que ha sido usado recientemente por DIODATO & BELLOCCHI (2020) para obtener un indicador de productividad forestal potencial en Italia o el uso de los excelentes diagramas bioclimáticos propuestos por MONTERO DE BURGOS y GONZALEZ REBOLLAR (1974), con gran utilidad en el ámbito forestal (GARCÍA SALMERÓN, 1980). Aunque estos últimos incorporan hipótesis sobre una propiedad del terreno (escorrentía) y una propiedad del suelo (capacidad de retención) como condicionantes importantes de la disponibilidad de humedad en el suelo y por tanto del crecimiento vegetal de terrenos con las mismas condiciones ombrotérmicas. De esta forma se corrige el índice de productividad potencial forestal únicamente dependiente de la temperatura (intensidad bioclimática potencial, IBP) para obtener un índice denominado intensidad bioclimática libre de la influencia de la sequía (IBL), que es indicativo de la potencialidad del terreno para el crecimiento de las especies forestales.

Un ejemplo de esfuerzos del segundo tipo, mixto (clima-terreno), es el método propuesto por SERRADA (1976) en la cual se corrige la productividad potencial climática (obtenida por una modificación del índice de Paterson) con la asignación de coeficientes de productividad según grupos de clases litológicas. De esta forma se tiene en cuenta el impacto del suelo sobre la productividad forestal potencial en condiciones isoclimáticas. Dicha metodología se aplicó recientemente con ayuda de las nuevas metodologías estadísticas y de GIS para elaborar el actual mapa de productividad forestal potencial de España (SÁNCHEZ PALOMARES y SÁNCHEZ SERRANO, 2000) y también se ha usado posteriormente a nivel regional en Asturias (BENAVIDES et al., 2009). Esta última metodología pone el énfasis en la importancia de la litología como determinante de las propiedades de los suelos, aspecto ya recogido tanto en trabajos clásicos (P.ej., JENNY, 1941), como en publicaciones recientes (P.ej., SIMON et al., 2021).

La importancia conjunta de litología-suelo-terreno determina la potencialidad edáfica, que junto con la potencialidad climática determinan gran parte del potencial productivo de los terrenos forestales. La cartografía de unidades litológicas agrupadas que se ha elaborado, si bien no es estrictamente una cartografía de suelos, sí es una aproximación objetiva al potencial del terreno para algunas de las propiedades edáficas que condicionan la presencia y/o productividad de las comunidades vegetales. Algunas de estas propiedades, ya comentadas, son la pedregosidad, la textura, la profundidad del suelo, la fertilidad potencial o la reacción del suelo. Otras propiedades como la profundidad de suelo se pueden aproximar en conexión con otras variables derivadas del modelo digital

de elevaciones (pendiente, concavidad-convexidad, flujo acumulado, orientación, etc.) y permiten realizar aproximaciones realistas al potencial edáfico en amplios territorios. Aunque recientemente se ha incluido la geología en algunas cartografías de suelos (SIMON *et al.* 2021), aún no es una metodología de trabajo general, y las cartografías clásicas de suelos no suelen incorporar información geológica (GRUNWALD, 2009; WILSON, 2019).

Aunque la mejor manera de incorporar la potencialidad edáfica en los modelos sería disponer de una cartografía precisa de clasificaciones clásicas de suelos, basadas en sus propiedades fisicoquímicas y/o la presencia de 'horizontes diagnósticos', esta no está disponible, ya que cartografiar con cierta validez y precisión clases de suelos exige un extraordinario esfuerzo de muestreo y la precisión espacial de los límites entre las distintas clases conlleva una incertidumbre muy importante. Por el contrario, los límites entre unidades litoestratigráficas y formaciones superficiales, en los mapas geológicos y geomorfológicos, responden a criterios más objetivos y permiten una aproximación razonable y práctica.

Mapas de reclasificaciones de clases litológicas similares al presentado en este trabajo se han desarrollado para Asturias para llevar a cabo la estimación de productividad potencial forestal en función de variables biofísicas utilizando la metodología propuesta por Serrada en 1976 (BENAVIDES *et al.*, 2009) y para la zonificación de suelo no urbanizable (MARQUÍNEZ *et al.*, 2017). También en Cataluña, CONESA *et al.* (2010) llevaron a cabo una reclasificación de clases litológicas a partir del Mapa Geológico de Cataluña a escala 1:25.0000 y que se ha usado posteriormente para predecir el crecimiento de especies forestales (VERICAT GRAU *et al.*, 2013) o para generar tipologías de masas boscosas (PIQUÉ *et al.*, 2014).

6. Agradecimientos

Aunque no ha financiado directamente los trabajos desarrollados en el presente trabajo, el proyecto de investigación AutoForCes, con código MCI-21-PID2020-112839RB-I00 financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) del Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), ha sido uno de los motores que ha propiciado la realización del presente trabajo.

7. Bibliografía

BALSTRØM, T.; BREUNING-MADSEN, H.; KRÜGER, J.; JENSEN, N.H.; GREVE, M.H.; 2013. A statistically based mapping of the influence of geology and land use on soil pH. A case study from Denmark. *Geoderma* 192: 453-462.

BENAVIDES, R.; ROIG, S.; OSORO, K.; 2009. Potential productivity of forested areas based on a biophysical model. A case study of a mountainous region in northern Spain. *Ann. For. Sci.* 66, 108.

BUOL, S.W., SOUTHARD, R.J., GRAHAM, C., MCDANIEL, P.A., 2011. Soil genesis and

classification (6th edition). Wiley-Blackwell.

CONESA, J.A., VERICAT, P., PIQUÉ, M., SAURA, S., TORRAS, O., 2010. Mapa de classes litològiques d'importància forestal a partir del Mapa Geològic de Catalunya 1:50.000. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. <https://encl.pw/9tXIb>

DÍEZ MONTES, A.; GONZÁLEZ MENÉNDEZ, L.; MARTÍNEZ CATALÁN, J.R.; GALLASTEGUI, G.; 2011. Mapa Geológico Digital Continuo E. 1: 50.000, Zona Galicia Trás-os-Montes (Zona-1200). In: Navas, J. (Ed.) GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME.

DIODATO, N.; BELLOCCHI, G.; 2020. Spatial probability modelling of forest productivity indicator in Italy. *Ecol. Indic.* 108, 105721.

GARCÍA SALMERÓN, J.; 1980. Les diagrammes bioclimatiques et leur utilization forestière. *Forét Méditerranéenne*, t. i, n° 2 : 105-133.

GONZÁLEZ MENÉNDEZ, L.; HEREDIA, N.; MARCOS, A.; 2008. Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Asturoccidental-Leonesa (Zona-1100). In: Navas, J. (Ed.) GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME.

GRAY, J.M., BISHOP. T.F.A., WILFORD, J.R., 2016. Lithology and soil relationships for soil modelling and mapping. *Catena* 147: 429-440.

GRUNWALD, S.; 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma* 152, 152 -207.

IGME, 2024. Servicio WMS GEODE. Mapa Geológico Continuo de España a escala 1:50.000. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

IGN, 2014. Sistema de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) [Cartografía Digital]. 1:25.000. Instituto Geográfico Nacional. Madrid.

JENNY, H.; 1941. Factors of soil formation; a system of quantitative pedology. McGraw- Hill, New York, London: 281 pp.

MARQUÍNEZ, J., COLINA, A., ÁLVAREZ, M.A., FERNÁNDEZ-IGLESIAS, E., GARCÍA MANTECA, P., FERNÁNDEZ MENÉNDEZ, S., GARCIA DE LA FUENTE, L., FERNÁNDEZ PRIETO, J.A., MENÉNDEZ DUARTE, R., RECONDO C., VALDERRÁBANO, J., 2017. Integración de múltiples datos y modelos para orientar la zonificación del suelo no urbanizable en Asturias (España). En. XVI Conferencia Iberoamericana de

Sistemas de Información Geográfica. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador, 27–29 de septiembre de 2017. Memoria, Eje 6, Ponencia 5, pp. 275–286.

MERINO-TOMÉ, O.; SUÁREZ RODRÍGUEZ, A.; ALONSO ALONSO J. L.; 2014. Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Cantábrica (Zona-1000). In: GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME. Disponible en <http://info.igme.es/visorweb/>

MONTERO DE BURGOS, J.L.; GONZALEZ REBOLLAR, J.L.; 1974. Diagramas bioclimáticos. ICONA. Madrid.

PATERSON, S.S.; 1956. The forest area of the world and its potential productivity. Royal University of Göteborg, Department of Geography, Göteborg.

PEÑA CORDERO, W.; 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela.

PIQUE, M., VERICAT, P., CERVERA, T., BAIGES, T., FARRIOL, R., 2014. Tipologies forestals arbrades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

RIVAS-MARTÍNEZ, S., PENAS, A., DÍAZ, T.E., 2004. Biogeographic map of Europe, Cartographic Service, University of León.

ROBADOR MORENO, A.; SAMSÓ ESCOLÁ, J.M.; RAMAJO CORDERO, J.; 2011. Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Pirineos Vasco-Cantábrica (Zona-1600). In: Navas, J. (Ed.) GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME.

RUBIO PASCUAL, F.; JIMÉNEZ BENAYAS, S.; GOMEZ FERNÁNDEZ, F.; VILLAR ALONSO P.; PORTERO URROZ, G.; GONZALEZ CUADRA P.; GARCÍA CRESPO, J.; NIETO GARCÍA A.B.; 2011. Mapa Geológico Digital Continuo E. 1: 50.000, Zona Centroibérica. Domino Ollo de Sapo (Zona-1300). In: Navas, J. (Ed.). GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea]. Sistema de Información Geológica Continua: SIGECO. IGME.

SÁNCHEZ PALOMARES, O; SÁNCHEZ SERRANO, F.; 2000. Mapa de la Productividad Potencial Forestal de España. Banco de Datos de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 84-8014-297-9.

SERRADA, R.; 1976. Método para la evaluación con base ecológica de la



productividad potencial de las masas forestales en grandes regiones y su aplicación en la España Peninsular. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

SIMON, A.; WILHELMY, M.; KLOSTERHUBER, R.; COCUZZA, E.; GEITNER, C.; KATZENSTEINER, K.; 2021. A system for classifying subsolum geological substrates as a basis for describing soil formation, *Catena* 198, 105026.

VERICAT GRAU, P., PIQUÉ NICOLAU, M., TRASOBARES RODRÍGUEZ, A., 2013. Factores ambientales que afectan al crecimiento de las cuatro principales especies de coníferas en Cataluña. 6º Congreso Forestal Español, 10-14 junio 2013, Vitoria-Gasteiz. <https://www.congresoforestal.es/actas/doc/6CFE/6CFE01-025.pdf>

WEIL, R.R.; BRADY, N.C.; 2016. The nature and properties of soils (15th edition). Columbus Pearson 1080 pp.

WILSON, J.M.; 2019. The importance of parent material in soil classification: a review in a historical context. *Catena* 182: 104132