

AC2021L-03: “Fertilización inicial para plantacións de piñeiro mellorado dentro dunha silvicultura á medida: avaliación das doses de aplicación e aproximación á súa rendibilidade”



INVESTIGADORA RESPONSABLE DO PROXECTO:
Eva Prada Ojea

Otubro 2023

MEMORIA FINAL

AC2021L-03: “Fertilización inicial para plantacións de piñeiro mellorado dentro dunha silvicultura á medida: avaliación das doses de aplicación e aproximación á súa rendibilidade”

1. Introducción

O Programa de Mellora Silvícola do Centro de Investigación Forestal de Lourizán ten a finalidade de acadar unha silvicultura avanzada para obter plantacións de alta produtividade de forma sostible. Este programa inclúe entre as especies obxectivo dúas especies de piñeiro, *Pinus pinaster* Ait. e *Pinus radiata* D. Don, tanto pola súa importancia forestal en Galicia coma debido a que se dispón de planta mellorada xenéticamente.

Un dos obxectivos do programa de mellora silvícola é o estudo do efecto da fertilización nos piñeirais. O uso de fertilizantes no momento da plantación habilita ás plantas a medrar rapidamente ao inicio do seu desenvolvemento; de xeito que poden dominar a vexetación de competencia con maior facilidade.

En xeral, en Galicia os solos amosan desequilibrios nutritivos, e tanto un exceso coma un defecto dos nutrientes esenciais (nitróxeno, fósforo e potasio) van afectar á produtividade das masas forestais. Por este motivo, precisamos coñecer o estado dos solos nos que imos facer unha plantación, así coma coñecer os requirimentos nutritivos que teñen as especies forestais que imos plantar neles. Deste xeito poderemos mellorar a súa produtividade.

Entre 2016 e 2019, o CIF de Lourizán en colaboración con Financiera maderera (FINSA) estableceron 3 ensaios de fertilización de inicio, en 3 sitios diferentes para cada especie de piñeiro. Nestes ensaios comparamos a resposta dos piñeiros ante os tres macronutrientes esenciais combinando catro doses diferentes de cada un deles. O deseño experimental foi de 4 bloques aleatorizados cun triplo factorial (os nutrientes: N, P, K) con 4 niveis (as doses de cada nutriente: 0, 20, 40, 60 ou 0, 10, 20, 40 g/planta dependendo do ensaio). A parcela de ensaio elemental é de 4 plantas dispostas en liña, establecidas a unha densidade de 1250 pes/ha (marco de plantación de 4x2 m). En total o ensaio inclúe 64 tratamentos e polo tanto cada bloque comprende 256 plantas. Cada ensaio ocupa unha superficie de 8192 m² e ten en total 1024 plantas.

Dende o momento da súa plantación tomáronse medicións de altura e supervivencia das plantas. Na parcela instalada en 2016 temos datos xa de 5 períodos de crecemento, que xunto cos demais datos obtidos nas outras parcelas (2, 3 ou 4 períodos de crecemento), permítenos extraer conclusións sobre os requirimentos de cada nutriente que ten cada especie de piñeiro.

No presente proxecto instaláronse 4 novos ensaios (2 por especie de piñeiro), en 2 sitios de diferentes características climáticas, e aplicouse unha fertilización de inicio ca dose de nutrientes máis axeitada extraída dos ensaios de fertilización feitos ata o momento.

Os obxectivos principais do proxecto son (1) validar os resultados dos ensaios anteriores mediante a medición da supervivencia e das alturas nas novas mouteiras, (2) iniciar unha zonificación do territorio en zonas de mellora, (3) abordar un estudo de rendibilidade da fertilización de inicio en planta mellorada.

2. Membros cooperantes

O equipo cooperante está formado por:

- Centro de investigación forestal de Lourizán
- Financiera maderera, SA (FINSA)

3. Área prioritaria de actuación na que se encadra a iniciativa de cooperación

Segundo a circular AC 1/2021, punto 5º.1. (áreas prioritarias de actuación das iniciativas de cooperación), o presente proxecto encádrase na área prioritaria *b) Sistemas agrarios de produción*, en concreto no:

Aumento da sustentabilidade e competitividade dos sistemas de produción agrícola, gandeira e forestal orientado á salvagarda da saúde dos consumidores, á mitigación dos impactos ambientais e á loita contra o cambio climático. Inclúese o desenvolvemento e obtención de novas tecnoloxías, equipamentos e instalacións, maquinaria, sistemas de produción, manexo e recolección de cultivos, así como a mellora xenética, a protección vexetal e animal, o desenvolvemento de axentes de control biolóxicos e o mantemento de especies e ecosistemas autóctonos.

4. Diagnose da situación e necesidade detectada

No ano 2016 iniciouse no Centro de Investigación Forestal de Lourizán o programa de mellora silvícola do piñeiro, para o desenrolo dunha silvicultura avanzada e específica para *Pinus pinaster* e *P. radiata*, co fin de obter de xeito sostible plantacións de alta produtividade, e así axudar a mellorar a posición competitiva do sector, e minorar as debilidades do sector forestal en relación á mala calidade e aos baixos prezos da madeira de piñeiro.

Co programa de mellora silvícola afondaremos no coñecemento das mellores técnicas silvícolas a aplicar en plantacións de piñeiros xenéticamente mellorados, para que os propietarios á hora de realizar as plantacións conten co mellor material forestal e a mellor silvicultura asociada a el.

Unha das cuestións que se abordan no programa é o manexo eficiente dos fertilizantes, evitando déficits e excesos, para optimizar custos e beneficios, tanto económicos coma medioambientais. Queremos dar resposta a cuestións tales coma:

- Cadencia da aplicación de fertilizantes: ¿é convinte facer unha fertilización con maiores doses e aplicala só o primeiro ano no momento da plantación, ou ben é mellor aplicar doses menores e facer fertilizacións en anos posteriores?
- ¿Que supón a redución da quenda de corta a nivel económico?
- Cal é a repercusión económica no propietario forestal?
- ¿Pode verse afectada a calidade da madeira?
- ¿Que aspectos medioambientais se ven afectados positiva e negativamente coa aplicación de fertilizantes?
- ¿Como pode influír no sector forestal en xeral?

5. Obxectivos

Este proxecto pretende contribuír á finalidade do Programa de Mellora Silvícola que é ter nun futuro de xeito sostible plantacións de piñeiro mellorado xenéticamente de alta produtividade e promover a posición competitiva do mercado da súa madeira.

Para conseguila defínense os seguintes obxectivos neste proxecto :

- 1.- Validar as mellores doses de fertilización inicial e preparar os ensaios de fertilización recorrente: Promover o uso de fertilizantes dentro dunha silvicultura á medida, adecuada especialmente para os piñeiros mellorados xenéticamente.
- 2.- Inicio da definición no territorio galego das zonas de mellora silvícola para os piñeiros galego e insigne.
- 3.- Estudar a rendibilidade económica da fertilización inicial: Para coñecer se a aplicación desta técnica con esta planta é realmente mais produtiva para o propietario forestal.

6. Metodoloxía

As fases do proxecto son as seguintes:

6.1. Recollida e extracción de semente nos hortos de semente catalogados de pinaster e radiata para as novas plantacións. Será preciso a recollida dun mínimo de 4000 sementes por especie.

6.2. Sementeira e coidado das plántulas. Farase planta en envase.

6.3. Selección das mouteiras onde se realizarán os ensaios. Unha das localizacións de ensaio está en Frades (A Coruña) nos terreos propiedade de FINSA e outra nos terreos DA CMVMC san Xulián de Marín (Pontevedra). En cada localización se instalarán as dúas especies, cunha superficie aproximada total de 2 ha.

6.4. Análise edafolóxica do solo dos lugares seleccionados.

6.5. Preparación do terreo. Primeiro cunha roza total mecanizada e posteriormente cun subsolado en liñas de profundidade mínima de 60 cm.

6.6. Plantación e aplicación de fertilizante das novas parcelas. Os tempos de plantación e de fertilización serán contabilizados para incluír no estudo de rendibilidade económica. Tamén se levará a contabilidade do gasto de planta e de fertilizante.

6.7. Medición inicial da altura das plantas nos novos ensaios e medición a principios de 2023 tralo primeiro ciclo de crecemento. Medición das alturas de todas as árbores vivas nos 6 ensaios xa instalados (ensaíos localizados en 4 sitios, están descritos na táboa situada ao final do texto) a finais de 2021 e a finais de 2022. Realizarase con telescómetro ou vertex, dependendo da altura das árbores. Tamén se repoñerán as etiquetas identificativas naquelas plantas que non teñan. Para a correcta realización desta medición será necesario a roza destas parcelas. As mouteiras de ensaio de fertilización xa instaladas están establecidas nos seguintes sitios:

Ano instalación	Especie	Sitio	UTM X	UTM Y
2016	PINASTER	Frades (A Coruña)	556799	4766773
2018		Dozón (Pontevedra)	575255	4712433
2019		Begonte (Lugo)	609842	4775917
2017	RADIATA	Santiago (A Coruña)	540552	4750581
2017		Dozón (Pontevedra)	575135	4712204
2019		Begonte (Lugo)	609903	4775881

6.8. Estudo de rendibilidade. Levarase a cabo unha estimación que inclúa os gastos que supón a realización da fertilización así coma dos ingresos esperados ao final de quenda. Farase unha ampla revisión bibliográfica sobre o tema.

7. Resultados

7.1. Análise do solo

Na seguinte táboa temos os resultados das análises dos solos onde se instalaron os novos ensaios:

LUGAR	PROFUNDIDADE (cm)	% C	% M ORGANICA	% N TOTAL	C/N	pH	K ppm	P ppm	Ca ppm	Mg ppm	HUMIDADE %	% MOSTRA > 2 mm
FRADES	0-20	9.49	16.36	0.48	19.61	4.86	86	1.53	90	46	8.78	8.37
FRADES	20-40	3.26	5.62	0.18	17.91	4.83	22	1.01	17	14	5.48	10.95
MARÍN	0-20	8.70	15.00	0.52	16.60	4.71	46	20.28	20	18	6.58	6.80
MARÍN	20-40	7.61	13.11	0.41	18.61	4.87	22	5.69	7	10	4.28	12.38

7.2. Validación das doses de fertilización

Tras a análise estatística das medicións de supervivencia e altura dos piñeiros localizados nas 6 mouteiras dos ensaios, 3 de piñeiro do país e 3 de piñeiro insigne, atopamos que:

- O nitróxeno non é un nutriente necesario no crecemento destes piñeiros nas súas primeiras etapas de desenvolvemento.
- O fósforo si que ten un efecto positivo, sempre e cando no se abuse do seu uso, xa que non hai diferenzas entre os tratamentos que levan 20, 40 ou 60 g deste nutriente.
- No caso do potasio, observamos que para o piñeiro do país non ten un efecto significativo no seu crecemento, e si podería ter un efecto positivo na súa supervivencia. Para o piñeiro insigne o potasio si que presenta un efecto positivo tanto no crecemento coma na supervivencia. De xeito xeral, pode aconsellarse que para o piñeiro do país se apliquen



Figura 1. Medición de alturas en campo

unhas doses de fertilizante con contido en fósforo de 20 g, non sendo necesario que se lle aporte potasio e preferiblemente sen nitróxeno. Para o piñeiro insigne recoméndase un fertilizante con 20 g de fósforo, 20 g de potasio e preferiblemente sen nitróxeno.

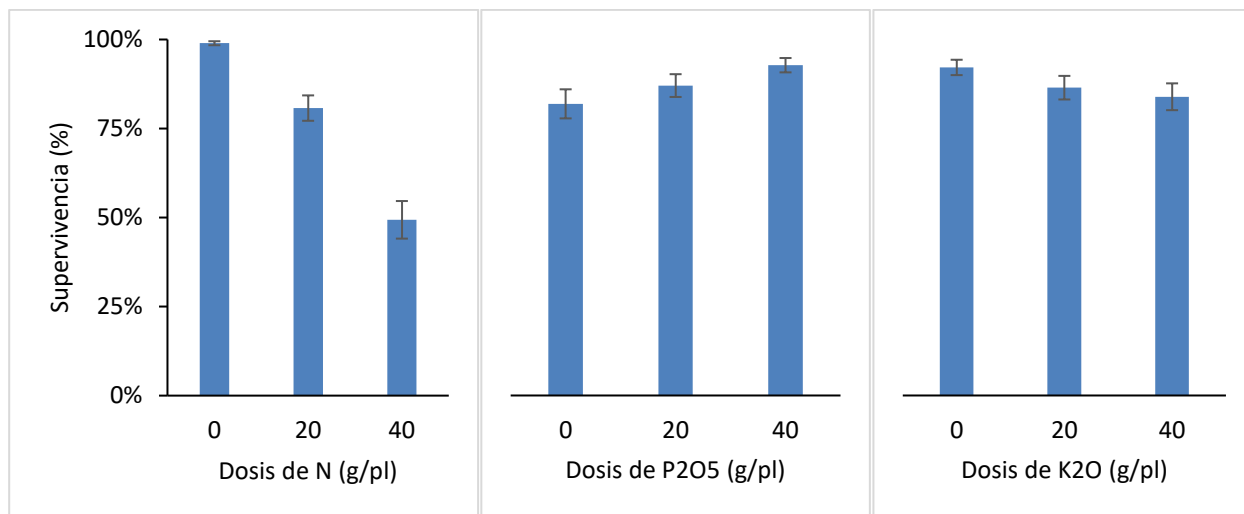


Figura 2. Supervivencia de *P. pinaster* tras o primeiro periodo de crecemento para as distintas doses de aplicación de cada nutriente, (A) Nitróxeno, (B) P2O5, (C) K2O.

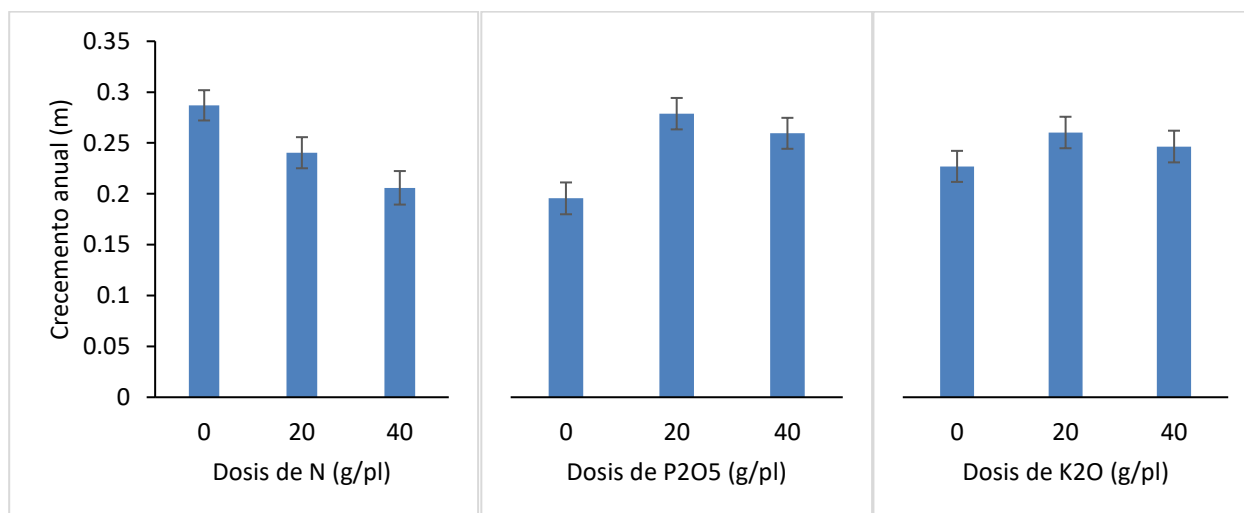


Figura 3. Crecemento anual en altura de *P. pinaster* no primeiro periodo de crecemento para as distintas doses de aplicación de cada nutriente: (A) Nitróxeno, (B) P2O5, (C) K2O

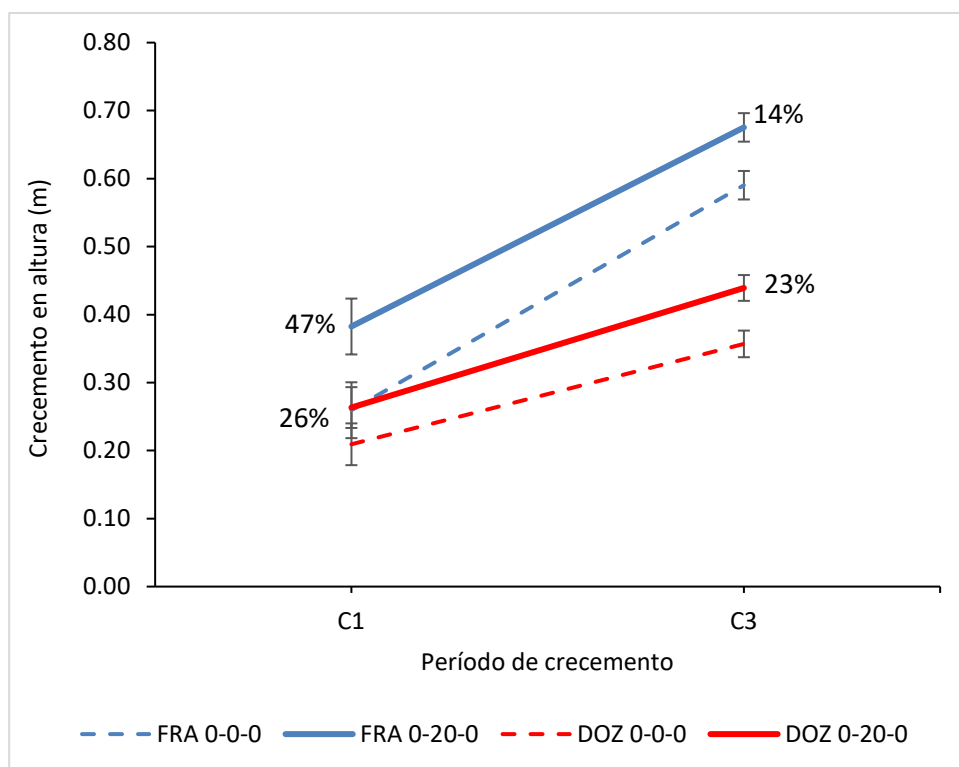


Figura 4. Crecemento en altura de *P. pinaster* en dous sitios (FRA, Frades e DOZ, Dozón) para o tratamento sen fertilizar (0-0-0) e o tratamento con 20 g planta⁻¹ de P2O5 (0-20-0). As porcentaxes expresan o crecemento co tratamento 0-20-0 respecto ao tratamento sen fertilización para cada sitio e ano.

As diferenzas de produtividade atopadas nas plantacións neste estudo pódense atribuír á altitude, á duración do período de seca e ao número de horas de frío. Os datos obtidos indican a necesidade de facer unha boa selección de sitio e só fertilizar cando presenta boas condicións para o crecemento da especie. Parece que os tratamentos de fertilización NPK que se usan actualmente nas plantacións de piñeiro poden non ser adecuados durante os primeiros anos despois do establecemento e probablemente non sexan suficientes para o desenvolvemento posterior. Polo tanto, para continuar con este estudo deben seguirse realizando ensaios con aplicacións de fertilizantes cunha ampla gama de doses de nutrientes e repetidas no tempo.

7.3. Proposta de zonas de mellora.

Para abordar a zonificación de Galicia para a plantación produtiva de piñeiro do país considerouse que as variables máis importantes que poden afectar a súa produtividade son a altitude, o tipo de solo, a pendente, e o clima. Con estas premisas, elaborouse un mapa no que se pode ver o potencial produtivo que tería unha plantación de piñeiro do país en todos os puntos do territorio galego. (Ver anexo I para a descrición da metodoloxía aplicada).

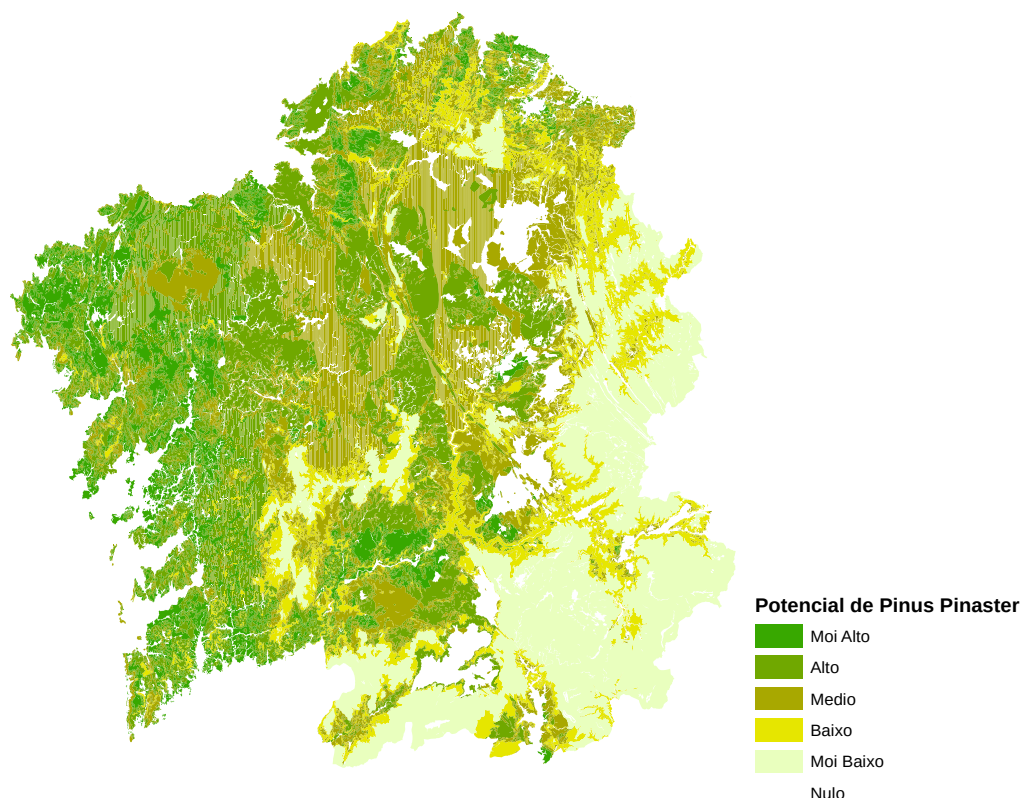


Figura 5. Mapa do potencial produtivo de *P. pinaster* en Galicia

7.4. Estudo da rendibilidade da fertilización.

Realizouse unha simulación de crecemento dos piñeiros en diferentes escenarios de itinerarios silvícolas, tendo en conta por un lado que se fixo unha fertilización inicial e por outro que non se fixo unha fertilización inicial. Para a simulación, desenvolveuse unha ferramenta informática, mediante a cal, establecendo diferentes estados da masa de partida, seguindo os itinerarios silvícolas e tendo en conta as variables económicas de prezos, inflación e taxa de desconto, se puido avaliar baixo que condicións a fertilización inicial é rendible (ver anexo II).

As conclusións finais máis importantes foron que:

- O beneficio da fertilización está moi influenciado polos prezos da madeira e a taxa de desconto.
- En todos os itinerarios silvícolas estudados, é mais rendible facer unha fertilización de inicio que non fertilizar.

Itinerario silvícola	VAN sen fertilización (EUR.)	VAN con fertilización (EUR.)
PP1	4877,19	6579,41
PP2	7719,27	9458,29
PP3	-1135,15	75,08

8. Plan de transferencia e divulgación

Fíxose unha divulgación nunha variedade de ámbitos:

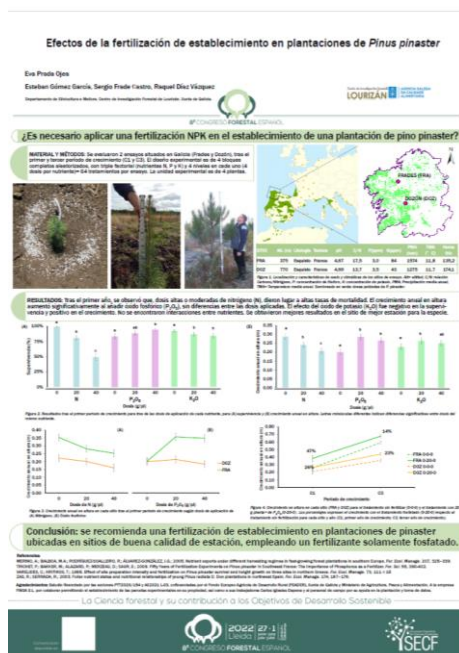
- Publicación dun artigo científico titulado “UAV-Based LIDAR Scanning for Individual Tree Detection and Height Measurement in Young Forest Permanent Trials” na revista Remote Sensing.
<https://doi.org/10.3390/rs14010170>



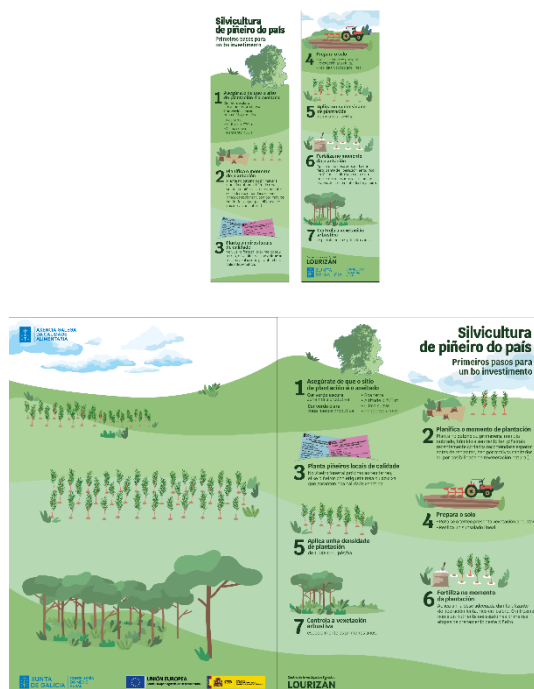
- Presentación dos resultados da fertilización de inicio no Webinar internacional “FERTIPINE - Fertilização de pinheiro-bravo” o 12 de xaneiro de 2022
<https://www.centropinus.org/news/disponiveis-online---gravacao-e-informacao-do-webinar-internacional-fertipine---fertilizacao-de-pinheiro-bravo>



- Presentación do póster divulgativo “Efectos de la fertilización de inicio en plantaciones de *P. pinaster*”, con resultados da fertilización inicial no VIII Congreso Forestal Español en xuño de 2022



- Elaboración dunha infografía e material de divulgación para promover a aplicación da silvicultura nas masas de piñeiros.



9. Impacto sobre os usuarios potenciais da innovación e relevancia na súa contribución ao obxectivo da AEI

As plantacións forestais subministran bens e servizos á sociedade xa que desenrolan funcións de vital importancia:

- Función ecolóxica: regulación do ciclo da auga, control da erosión, control da desertización, fixación de CO₂, conservación da diversidade biolóxica
- Función económica: produción e comercialización de bens forestais
- Función social: creación de emprego, desenvolvemento rural, función recreativa e educativa
- Función cultural: identidade local e soporte de coñecementos e usos tradicionais.

As plantacións forestais son un instrumento eficaz para a loita contra o cambio climático, e entre todas as especies arbóreas o piñeiro é unha das que absorbe maior cantidade de CO₂.

Na actualidade estamos nun momento de recuperación económica dentro do sector forestal. No ano 2017 a Industria Forestal Madeirada superou os 2.200 millóns de euros de facturación por primeira vez dende 2008. A sociedade actual demanda cada vez máis produtos de procedencia forestal polas súas boas características ecolóxicas e beneficiosas para o medio ambiente. É unha oportunidade de crecemento que o sector forestal galego non pode perder.

Os piñeirais proporcionan outros produtos que poden considerarse coma complementarios coma a resinación, a obtención de leñas e piñas, ou o aproveitamento do mato para gando e pastoreo, así coma o aproveitamento micolóxico que pode supor un ingreso complementario importante para un propietario dunha plantación de piñeiros.

Así mesmo, este proxecto está en consonancia coas propostas incluídas no novo Plan Forestal de Galicia (PFG), que ten entre os seus obxectivos un aumento anual da produción de madeira dun 33 %, e que, no referente ás coníferas, fai fincapé especialmente nos piñeiros, subliñando que se fomentarán as repoboacións de piñeiros de alta calidade xenética.

10. Referencias

Bará, S., 1998. Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria. Xunta de Galicia

Basurco, F.; Noriega, M.; Romeral, L.; Toval, G.; 2001. Ensayos de fertilización localizada en masas clonales de *Eucalyptus globulus* en el momento de la plantación en la provincia de A Coruña. III Congreso Forestal Español, mesa 3. pp. 671–675

Dans del Valle, F., et al., 1999. Manual de selvicultura del pino radiata. Proxecto Columella. Universidade de Santiago de Compostela.

Driessche, R. 1991. Mineral nutrition of conifer seedlings.

Eimil-Fraga, C. et al., 2014. Significance of bedrock as a site factor determining nutritional status and growth of maritime pine. *Forest Ecology and Management* 331, 19-24.

Gonçalves, J.L.M. e Barros, N.F. 1999. Improvement of site productivity for short-rotation plantations in Brazil. *Bosque* 20, 89–106.

Keay, J.; Turton A.G.; Campbell, N.A.; 1968. Some effects of nitrogen and phosphorus fertilization of *Pinus pinaster* in Western Australia, *For. Sci.* 14, 408–417.

Liu, X. J.; Zhang, Y.; Han, W. X.; Tang, A. H.; Shen, J. L.; Zhang, F. S.; et al.; 2013. Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature* 494, 459–462. doi: 10.1038/nature11917

Marey-Pérez, M.F.; Bruña-García, X.; Picos-Martín, J.; Rodríguez-Vicente, V.; 2017. *Eucalyptus* y Planificación Forestal: El Caso de Galicia. En 7º Congreso Forestal Español: gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía, 26-30 de junio, Plasencia, Cáceres, Spain

Merino, A.; Balboa, M.A.; Rodríguez-Soalleiro, R.; Álvarez-González, J.G.; 2005. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. *For. Ecol. Manage.* 207, 325–339.

Rodríguez Soalleiro, R. e Madrigal Collazo, A., 2008. Selvicultura de *Pinus pinaster* Ait. subsp. atlantica H. de Vill. en Compendio de selvicultura aplicada en España. INIA

Rodríguez Soalleiro, R. et al., 1997. Manual de selvicultura del pino pinaster. Proxecto Columella. Universidade de Santiago de Compostela.

Sánchez Rodríguez, F. e Rodríguez Soalleiro, R., 2008. Selvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Compendio de selvicultura aplicada en España. INIA



Sánchez-Rodríguez, F.; Rodríguez-Soalleiro, R.; Español, E.; López, C.A.; Merino, A.; 2002. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwestern Spain. *For. Ecol. Manag.* 171, 181-189.

SAS Institute Inc. 2014. SAS/STAT® 13.2 User's Guide. Cary, NC, USA.

Schönau, A.P.G.; Herbert, M.A.; 1989. Fertilizing eucalypts at plantation establishment, *For. Ecol. Manage.* 29, 21–244.

Scola Fernández, M. et al., 2005. Manual de silvicultura do piñeiro radiata. Repoboación, coidados silvícolas e produción de planta en viveiro. A experiencia de AFRIFOGA co piñeiro radiata en Galicia. AFRIFOGA

Smethurst, P.J. 2000. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: A review. *For. Ecol. Manag.* 138, 397–411.

Smethurst, P.J. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. 2010. *Plant Soil* 335, 83–100.

Trichet, P.; Bakker, M.; Alazard, P.; Merzeau, D.; Saur, E.; 2009. Fifty Years of Fertilization Experiments on *Pinus pinaster* in Southwest France: The Importance of Phosphorus as a Fertilizer. *For. Sci.* 55, 390-402.

Trichet, P.; Loustau, D.; Lambrot, C.; Linder, S.; 2008. Manipulating nutrient and water availability in a maritime pine plantation: Effects on growth, production, and biomass allocation at canopy closure. *Ann. For. Sci.* 65. 814.

Varelides, C.; Kritikos, T.; 1995. Effect of site preparation intensity and fertilization on *Pinus pinaster* survival and height growth on three sites in northern Greece. *For. Ecol. Manage.* 73, 111 -115

Viera, M.; Ruíz Fernández, F.; Rodríguez-Soalleiro, R. 2016. Nutritional Prescriptions for Eucalyptus Plantations: Lessons Learned from Spain. *Forests* 7, 84. <https://doi.org/10.3390/f7040084>

Zas, R.; 2006. Iterative Kriging for Removing Spatial Autocorrelation in Analysis of Forest Genetic Trials. *Tree Genetics and Genomes* 2(4), 177–85.

Zas, R.; Serrada, R.; 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For. Ecol. Manage.* 174, 167–176.

Zhu, L. X.; Zhang, W.; 2017. Effects of controlled-release urea combined with conventional urea on nitrogen uptake, root yield, and quality of *Platycodon grandiflorum*. *J. Plant Nutr.* 40, 662–672. doi: 10.1080/01904167.2016.1249799



ANEXOS

*Estudio del potencial productivo de los
suelos de Galicia para la plantación de
Pinus pinaster*



Ciente



Fecha

4 de octubre de 2023

Índice

1	Objetivo	2
2	Cartografía de partida	2
3	Transformación y depuración.....	3
3.1	Altitud	3
3.2	Pendientes.....	4
3.3	Heladas	5
3.4	Geología.....	7
4	Árbol de decisión	10
5	Cartografía definitiva. Generalización y vectorización	14
6	Entregables	17



1 Objetivo

Desde el Centro de Investigación Forestal de Lourizán se persigue la obtención de cartografías que caractericen el potencial productivo **en toda Galicia**, para la plantación de ejemplares de la especie *Pinus pinaster*, conocida con varias denominaciones: pino marítimo, pino de Las Landas, pino gallego, pino resinero, etc.

Se plantea la obtención de dicha cartografía a partir de fuentes de datos de partida, sobre los cuales se llevan a cabo procesos de depuración y transformación. Una vez depurados, se aplican diferentes árboles de decisión, que identifican las potencialidades a partir de la combinación de las variables contenidas en las cartografías de partida.

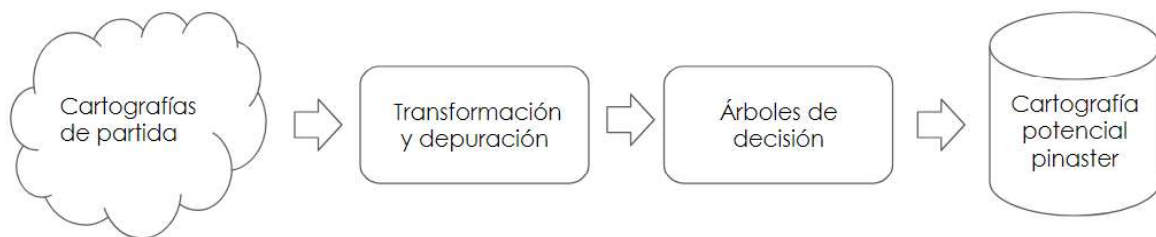


Figura 1 Proceso general

2 Cartografía de partida

Las fuentes de datos de partida a considerar, junto con el origen de las mismas y sus características, se citan a continuación:

Fuente de datos	Origen	Formato
Altitud sobre el nivel de mar	Centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional	ASCII
Pendientes	Transformación GIS a partir de datos de altitud	Ráster
Geología	Centro de Descargas de información geográfica de la Xunta de Galicia	Vector. Shapefile
Heladas (Temperatura)	Centro de Investigación Forestal de Lourizán	Vector. Shapefile

Tabla 1 Fuentes de datos de partida

La consecución de las tres primeras fuentes son responsabilidad de Agresta, a través de los medios indicados; si bien la cartografía de pendientes no se obtiene de forma directa es necesario llevar a cabo acciones de procesado y transformación GIS a partir de la



cartografía de altitudes. Sin embargo, el suministro de las cartografías climáticas es responsabilidad el CIF Lourizán.

3 Transformación y depuración

Para poder llevar a cabo la aplicación de árboles de decisión, es necesario poner en práctica una serie de operaciones sobre los datos de partida que permitan su tratamiento homogéneo. Así, se han hecho los siguientes procesos para cada una de las cartografías anteriormente citadas.

De entre ellas cabe destacar:

- Homogenización de los sistemas de referencia de coordenadas.
- Obtención de cartografía de pendientes desde la cartografía de altitud.
- Transformación a formatos ráster de las cartografías vectoriales.
 - Ello implica asignar valores numéricos a las variables alfanuméricas objeto de estudio.
- Homogeneizar la resolución de las cartografías ráster.
- Alineamiento de celdas de las cartografías ráster.

Aun teniendo en cuenta el amplio ámbito espacial (toda la Comunidad Autónoma gallega) que condicionaría el trabajo con las cartografías digitales, y obligaría a dividir la región en bloques e iterar cada uno de los procesos; gracias a la rasterización y alineamiento de resoluciones y celdas, se ha podido optar por procesar datos contra todo el ámbito espacial, a partir de las 4 cartografías en formato ráster a obtener, una por cada fuente de partida.

3.1 Altitud

Los datos de altitud proceden del Centro de Descarga del CNIG, en una resolución de 25 metros. Se han descargado 85 bloques correspondientes a la extensión de toda Galicia, en formato tif que presentan un Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) a priori correspondiente con ETRS89 UTM 29 N; pero de nombre SOURCECRS.

Sin embargo dicho SRC de partida genera un error de posicionamiento al aplicar geoprosos sobre las mismas por lo que se hace necesario reproyectar cada uno de los 85 bloques ráster de la colección al SRC con EPSG: 25829 correspondiente con la zona de estudio. Para ello se ha hecho uso de un algoritmo iterativo en lenguaje Python con librería gdal.

Una vez solventado el error se ha hecho la combinación de la colección de ráster para obtener un solo ráster de altitudes en metros, con resolución 25 metros y EPSG 25829 para toda Galicia:



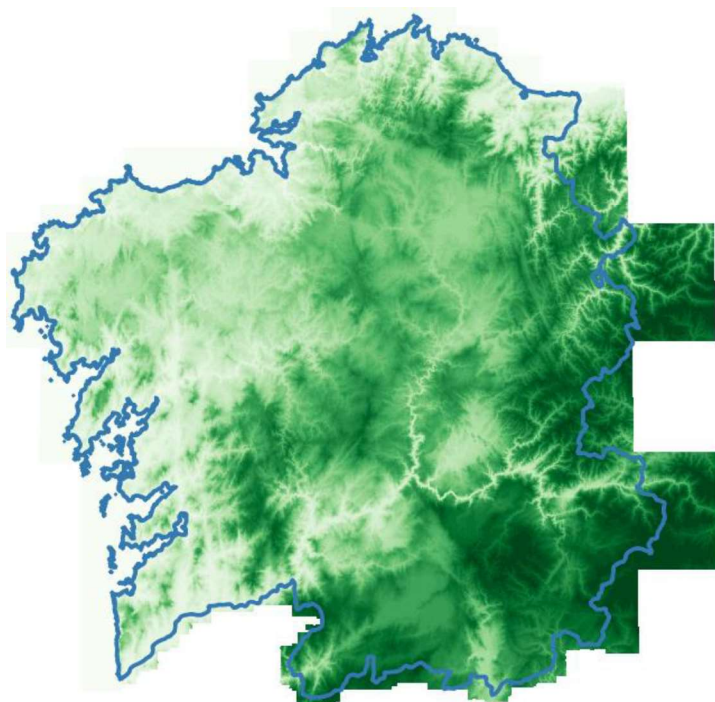


Figura 2 Cartografía ráster de altitudes

3.2 Pendientes

El ráster de pendientes es un derivado del ráster altitudinal. El algoritmo de cálculo de pendientes se basa en el análisis topográfico de modelos digitales de elevación (DEM). Este proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de cálculos matemáticos a los valores de altitud de una cuadrícula ráster, lo que permite determinar la inclinación o pendiente del terreno en cada punto de la superficie. El algoritmo utiliza un enfoque de diferencia de altitud entre los puntos vecinos en la cuadrícula para calcular la pendiente en función de la variación de elevación en las áreas circundantes.

Para calcular las pendientes, se utiliza un método de diferenciación numérica que evalúa las diferencias de altitud entre una celda central y sus celdas vecinas en las direcciones vertical y horizontal. Luego, se combina esta información para obtener el ángulo de pendiente en cada celda del ráster resultante. El resultado **se expresa en porcentaje**, lo que facilita la interpretación de la topografía.

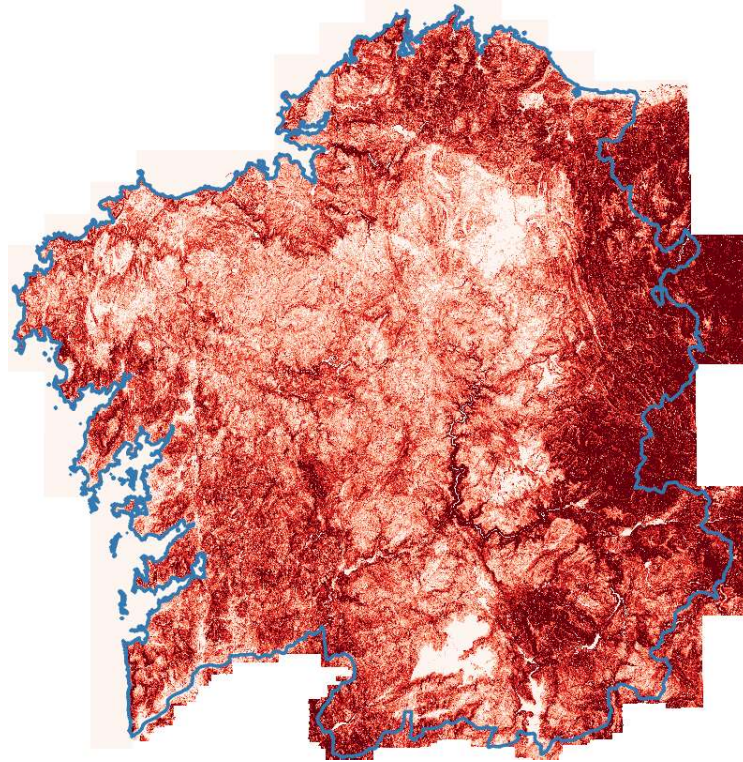


Figura 3 Ráster de pendientes

3.3 Heladas

El Centro de Investigación Forestal de Lourizán suministra una cartografía en formato vectorial con EPSG 25289 (coincidente con Altitud y Pendiente) denominada **Cap_prod_utm29_etrs89_v1**. Uno de los campos de esta cartografía se denomina Clima, y a partir de sus valores y siguiendo indicaciones del propio Centro de Lourizan, se calcula un nuevo campo de Heladas al que se le asigna un valor numérico, según la siguiente interpretación

Valores en campo Clima	Interpretación	Valor en campo Heladas
"T" o "N"	Más de 8 meses de heladas	1
"P"	De 6 a 8 meses de heladas	2
"M"	De 3 a 6 meses de heladas	3
"L"	De 0 a 3 meses de heladas	4

Tabla 2 Interpretación del campo Clima



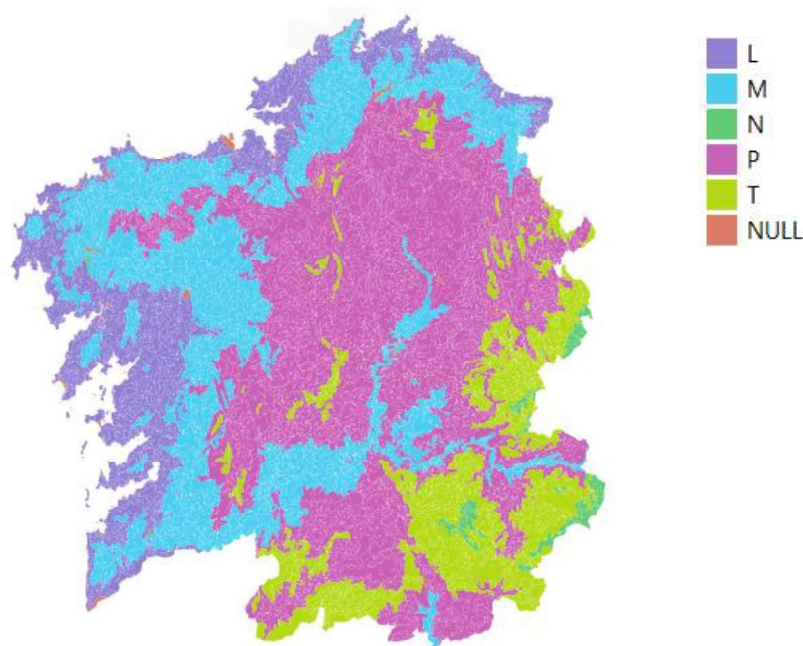


Figura 4 Campo Clima

Existen polígonos en el campo Clima que no tienen valores, es decir presentan valores NULL; para ellos se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

- Si Clima= NULL y valor en campo CODIGO es uno de los tres siguientes: "ILLA", "URBANO" o "AUGA"; se asigna el valor 0, que para los objetos del proyecto significa que en dichos polígonos el potencial de pinaster es NULO.
- Si Clima= NULL y valor en campo CODIGO = "SENCODIGO"; se fusiona dicho polígono con el vecino con el que comparta mayor longitud de colindancia.

Por tanto finalmente el campo Heladas, presenta los siguientes valores:

- Valor 0: Nulo
- Valor 1: Más de 8 meses con heladas.
- Valor 2: De 6 a 8 meses heladas.
- Valor 3: De 3 a 6 meses heladas.
- Valor 4: De 0 a 3 meses de heladas.

El proceso de rasterización es fundamental para poder interactuar con el resto de cartografías, lo que permite su integración y análisis en un entorno geoespacial. El algoritmo de rasterización opera mediante la partición del espacio en celdas regulares y la asignación de valores en función de la información contenida en las características vectoriales. Durante este proceso, cada celda del ráster se etiqueta y se le asigna un valor en función de su relación espacial con los elementos vectoriales de entrada.

Este algoritmo de rasterización ofrece una amplia flexibilidad en la configuración de la resolución de la cuadrícula resultante, lo que ha permitido ajustar la resolución y la extensión y lineamiento de los píxeles al resto de cartografías del proyecto.



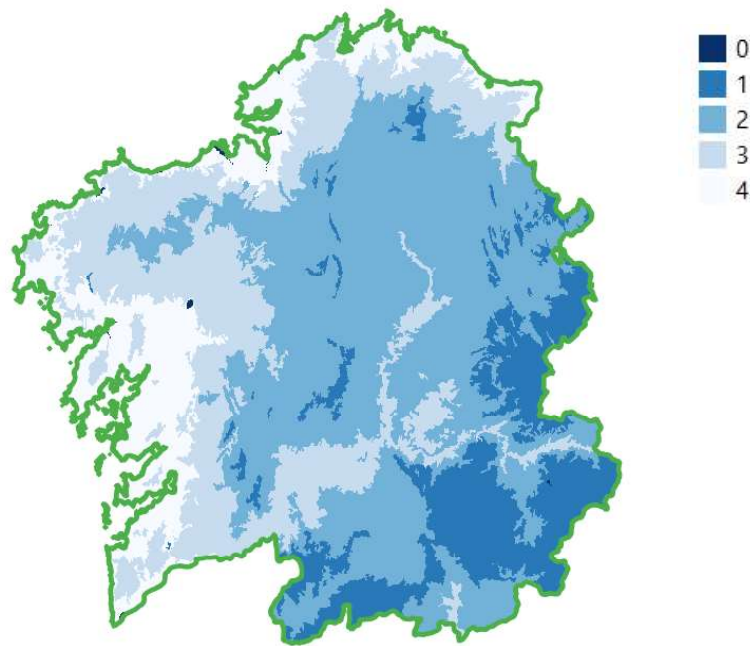


Figura 5 Cartografía final en formato ráster de heladas

3.4 Geología

El Centro de Descargas de información geográfica de la Xunta de Galicia ofrece entre sus cartografías disponibles la cartografía vectorial denominada **Xeoloxía** que divide la región gallega en polígonos en función de las diferentes características de los suelos. Dicha cartografía, al igual que las anteriores presenta como SRC el EPSG 25829.

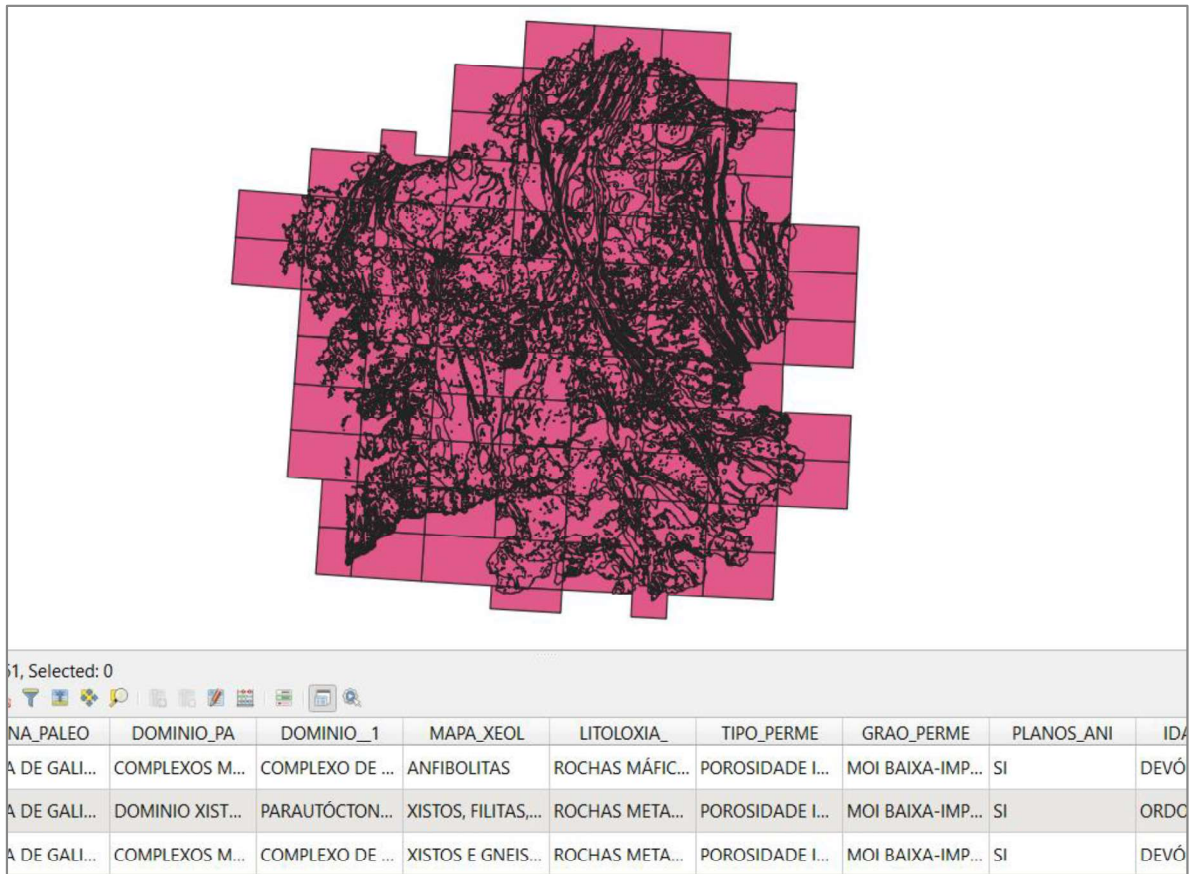


Figura 6 La cartografía Xeoloxía presenta numerosos campos que caracterizan los suelos

La cartografía descargada presenta un error de duplicado de uno de sus polígonos, que se procede a eliminar antes de proceder con los siguientes pasos

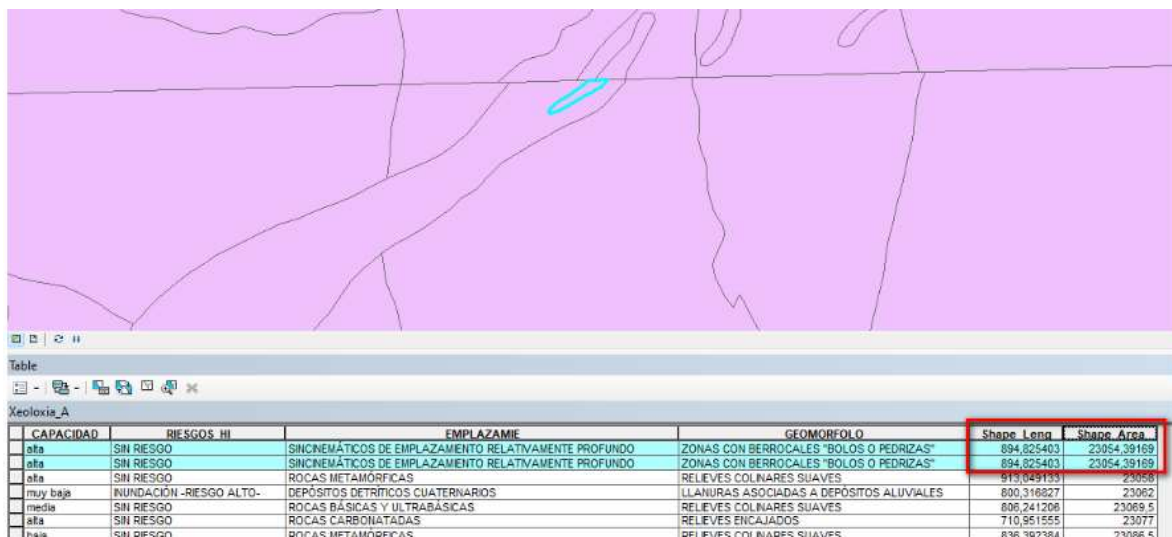


Figura 7 Polígonos duplicados



El Centro de Investigación Forestal de Lourizán, hace llegar unas indicaciones para la creación de un nuevo campo SUELO que indica la potencialidad de implantación del pinaster atendiendo al factor suelo; que se representa con los siguientes valores numéricos:

- 0: Potencial Nulo
- 1: Potencial Medio
- 2: Potencial Alto

Dichos valores, se obtiene a partir de la combinación de diferentes valores del resto de campos de la cartografía según se muestra a continuación:

Potencial Nulo (0)		
Columna: RISCOS_HID	CAMPOS	CAMPOS
Todos los campos excepto "Sen Risco" (Antrópico, Asturias, Asturias e León, Encharcamiento, etc.)	Todos	
Sen Risco	Columna: LITOLOXÍA_	
	Depósitos Detríticos Cuaternarios	Todos
	Rochas Carbonatadas	Todos
	Rochas Filonianas	Todos

Potencial Medio (1)			
Columna: RISCOS_HID			CAMPOS
Sen Risco	Columna: LITOLOXÍA_		
	ROCHAS MÁFICAS E ULTRAMÁFICAS		Todos
	Rochas Metamórficas	Columna: LITOLOXÍA	
		Anfibolitas	Todos
		Calcarias, dolomitas e magnesitas	Todos
		Gabros	Todos
		Lousas e Cuarcitas	Todos
		Peridotitas e serpentinitas	Todos
		Xistos e metavulcanitas	Todos

Potencial Alto (2)			
Columna: RISCOS_HID			CAMPOS
Sen Risco	Columna: LITOLOXÍA		
	Rochas graníticas		Todos
	Rochas Metamórficas	Columna: LITOLOXÍA	
		Gneises	Todos
		Granitoides calcoalcalinos	Todos

Tabla 3 Asignación de valores de potencial de suelo.

Una vez obtenido el campo SUELO, se utiliza el mismo para el proceso de rasterización, en análogas condiciones que para la cartografía de Heladas; esto es, mismo EPSG, resolución y alineamiento de píxeles que el resto de cartografías del proyecto.



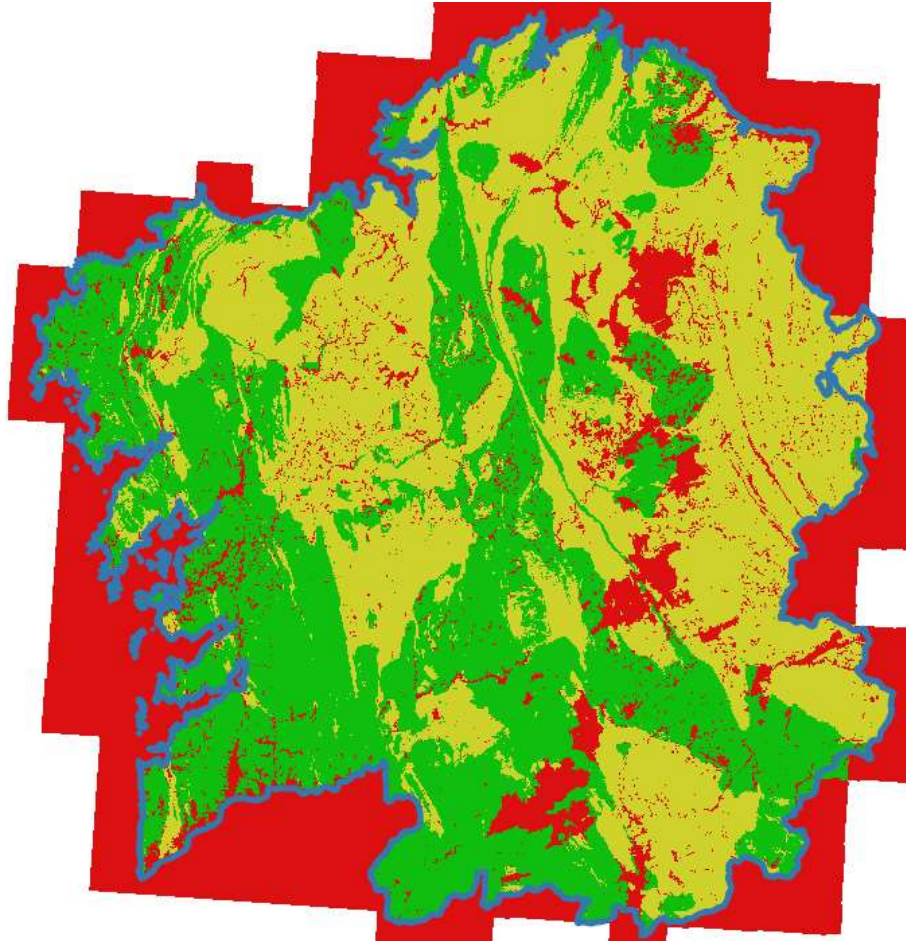


Figura 8 Cartografía de potencial de suelos; nulo (rojo) medio (amarillo) y alto (verde)

4 Árbol de decisión

Una vez, correctamente procesadas las cartografías de partida, se procede a la aplicación de los **árboles de decisión**, entendidos éstos como la combinación de los valores de las diferentes cartografías ráster para caracterizar la potencialidad de plantación del pinaster. Como se combinan los valores de las cuatro de cartografías de partida para alcanzar los diferentes valores de potenciales de plantación del pinaster, es indicado por el CIF Lourizán; según las siguientes directrices:

- Si las heladas es NULO (valor 0) el potencial es NULO (0)
- Si suelo es 0, el potencial es Nulo independientemente del resto.
- Si suelo es 1
 - Alt > 900: Muy Bajo, independientemente del resto
 - Alt 701-900:
 - Heladas > 8: Muy Bajo, indep. pendiente
 - Heladas 6 a 8: Muy Bajo, indep. pendiente
 - Heladas 3 a 6
 - Pend +35%: Bajo



- Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Medio
- Heladas 0 a 3:
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Medio
- Alt 551-700
 - Heladas > 8: Muy Bajo, indep. pendiente
 - Heladas 6 a 8
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Bajo
 - Pend 0 a 15%: Medio
 - Heladas 3 a 6
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Medio
 - Heladas 0 a 3
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Alto
- -Alt 0-550:
 - Heladas > 8
 - Pend +35%: Muy Bajo
 - Pend 16 a 35%: Bajo
 - Pend 0 a 15%: Bajo
 - Heladas 6 a 8
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Medio
 - Heladas 3 a 6
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Alto
 - Heladas 0 a 3
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Alto

- Si suelo es 2

- Alt > 900: Muy Bajo, indep del resto
- Alt 701-900:
 - Heladas > 8: Muy Bajo, indep. pendiente
 - Heladas 6 a 8
 - Pend +35%: Muy Bajo
 - Pend 16 a 35%: Bajo
 - Pend 0 a 15%: Bajo
 - Heladas 3 a 6
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Medio
 - Heladas 0 a 3:
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio
 - Pend 0 a 15%: Medio
- Alt 551-700
 - Heladas > 8: Muy Bajo, indep. pendiente
 - Heladas 6 a 8
 - Pend +35%: Bajo
 - Pend 16 a 35%: Medio



○ Pend 0 a 15%: Alto ■ Heladas 3 a 6 ○ Pend +35%: Bajo ○ Pend 16 a 35%: Alto ○ Pend 0 a 15%: Alto ■ Heladas 0 a 3 ○ Pend +35%: Bajo ○ Pend 16 a 35%: Alto ○ Pend 0 a 15%: Alto
➤ -Alt 0-550:
■ Heladas > 8 ○ Pend +35%: Muy Bajo ○ Pend 16 a 35%: Bajo ○ Pend 0 a 15%: Medio ■ Heladas 6 a 8 ○ Pend +35%: Bajo ○ Pend 16 a 35%: Medio ○ Pend 0 a 15%: Alto ■ Heladas 3 a 6 ○ Pend +35%: Bajo ○ Pend 16 a 35%: Alto ○ Pend 0 a 15%: Muy Alto ■ Heladas 0 a 3 ○ Pend +35%: Medio ○ Pend 16 a 35%: Alto ○ Pend 0 a 15%: Muy Alto

Tabla 4 Árbol de decisión para la obtención de valores de potencial de plantación de pinaster

El objetivo es por tanto la consecución de una cartografía a partir de la combinación indicada con los siguientes valores:

0. Nulo
1. Muy bajo
2. Bajo
3. Medio
4. Alto
5. Muy Alto

Mediante lenguaje de programación Python se traslada el árbol de decisión suministrado a algoritmos que puedan ser aplicados sobre los ráster procesados. Así, el algoritmo recorrerá cada grupo de celdas que se encuentran en la misma posición en cada uno de los 4 ráster y asignará a esa posición el valor de potencial de plantación de pinaster definido en el árbol de decisión.



```

alturas_band = alturas_dataset.GetRasterBand(1)
pendientes_band = pendientes_dataset.GetRasterBand(1)
litologia_band = litologia_dataset.GetRasterBand(1)
heladas_band = heladas_dataset.GetRasterBand(1)

nodata_value = alturas_band.GetNoDataValue()

alturas_array = alturas_band.ReadAsArray()
pendientes_array = pendientes_band.ReadAsArray()
litologia_array = litologia_band.ReadAsArray()
heladas_array = heladas_band.ReadAsArray()

result_array = np.where(heladas_array == 0, 0, nodata_value)

result_array = np.where(litologia_array == 0, 0, result_array)

result_array = np.where((litologia_array == 1) & (alturas_array >= 900), 1, result_array)

result_array = np.where((litologia_array == 1) & (alturas_array >= 701) & (alturas_array <= 900) &
(heladas_array == 1), 1, result_array)

result_array = np.where((litologia_array == 1) & (alturas_array >= 701) & (alturas_array <= 900) &
(heladas_array == 2), 1, result_array)

result_array = np.where((litologia_array == 1) & (alturas_array >= 701) & (alturas_array <= 900) &
(heladas_array == 3) & (pendientes_array >= 35), 2, result_array)

```

Figura 9 Fragmento del algoritmo en lenguaje Python

El resultado es una cartografía en formato ráster con extensión de toda la región gallega, cuyos valores se corresponden con las categorías de potencial de pinaster indicadas.

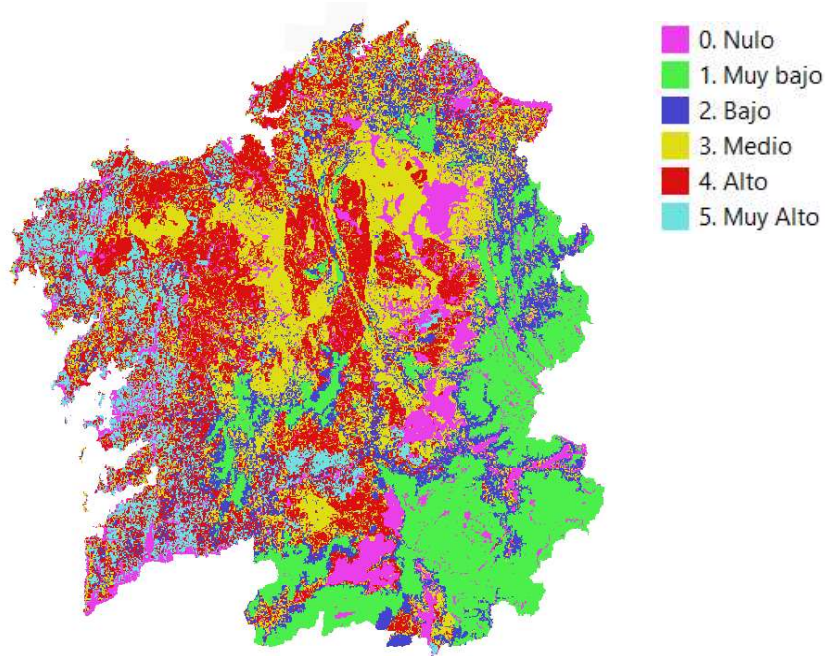


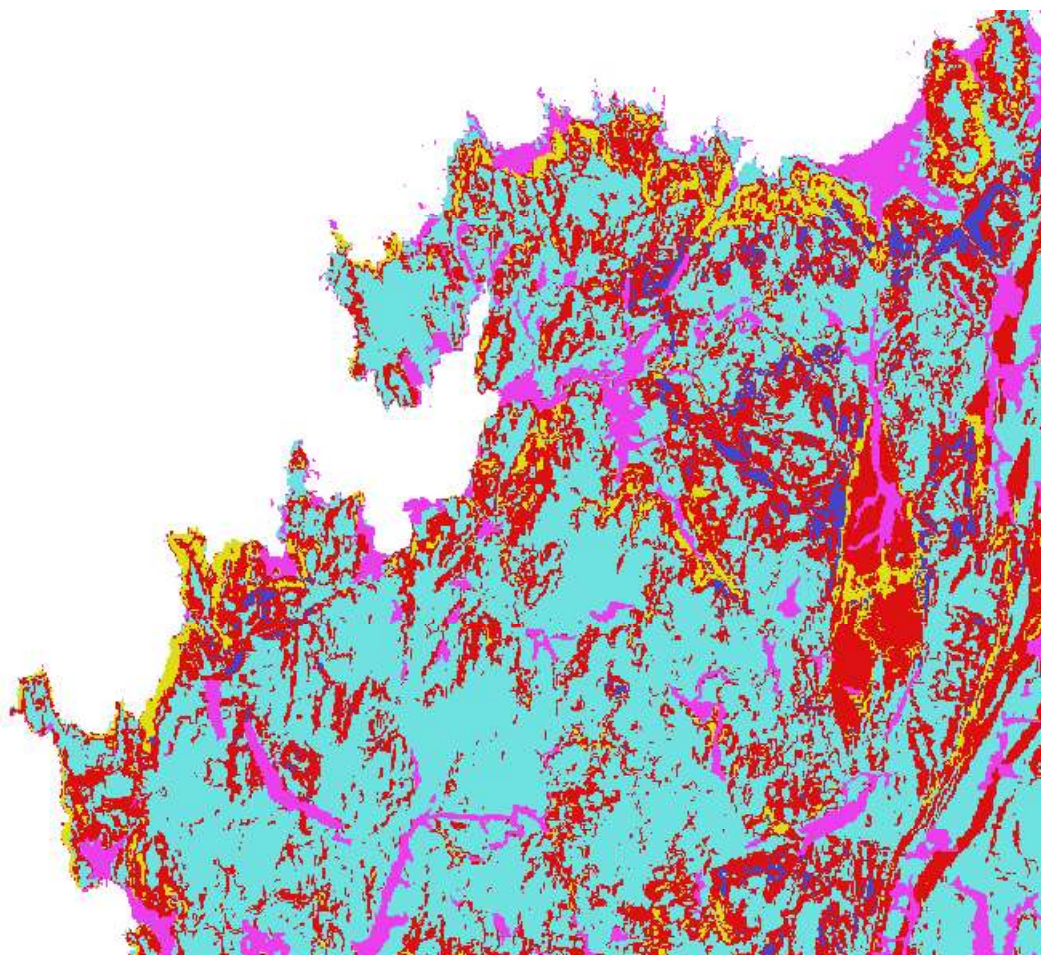
Figura 10 Potencialidad de plantación de pinaster



5 Cartografía definitiva. Generalización y vectorización

Los procesos SIG sobre fuentes de datos ráster suelen generar resultados que presentan el denominado efecto "sal y pimienta". Este es un término utilizado en el procesamiento de imágenes y la cartografía ráster para describir un tipo de ruido o distorsión que puede aparecer en las imágenes digitales. No se refiere específicamente a un defecto en la cartografía, sino más bien a un problema común en la manipulación de imágenes digitales en general. El efecto "sal y pimienta" se caracteriza por la aparición aleatoria de píxeles aislados con valores muy diferenciados con los de su entorno y que tienen escasa representación en la realidad.

Así en la cartografía obtenida este efecto se presenta en diferentes grados en toda la extensión de la cartografía, si bien se hace más patente en la zona de costa



Con el objetivo de obtener superficies más homogéneas se proceden a aplicar técnicas de generalización de ráster que persiguen eliminar píxeles y grupos de píxeles aislados, asignándoles el valor mayoritario de los píxeles vecinos.



En concreto se utiliza el proceso de generalización que permite establecer el tamaño de grupos de píxeles a disolver con el valor de sus vecinos.

Tras la aplicación de variados escenarios se concluye que una cartografía manejable y con alto grado de representatividad de la realidad a la escala de la comunidad autónoma es aquella que opera sobre grupos de 100 píxeles.

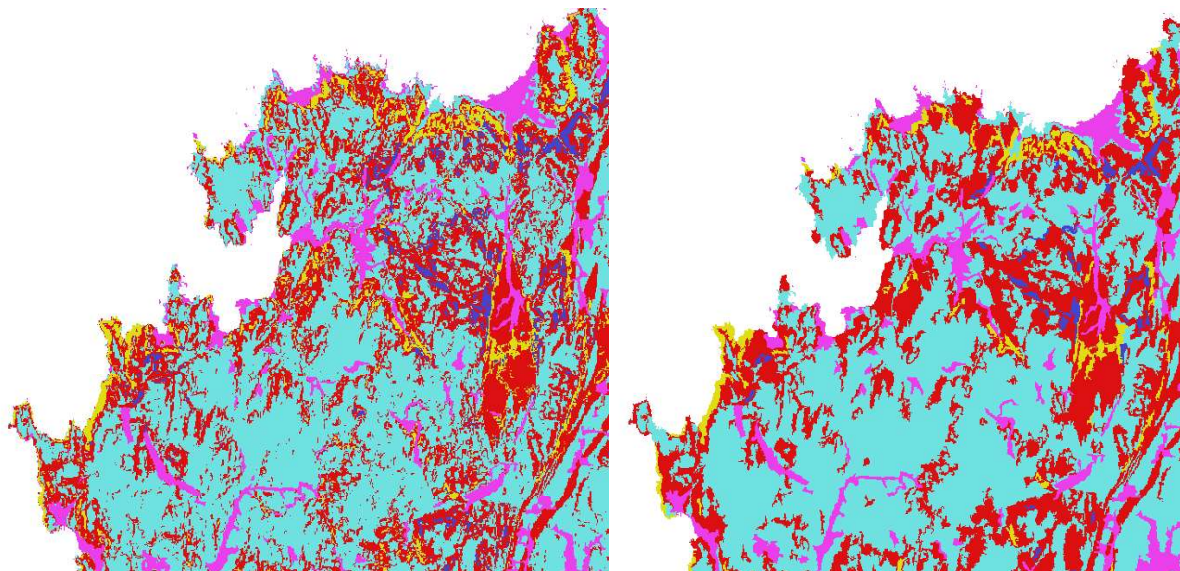


Figura 11 Aplicación de procesos de generalización de ráster; antes (izquierda) y después (derecha)

El proceso de generalización es esencial finalmente para poder transformar la capa ráster a un formato vectorial; dado que de otro modo, el número de polígonos a generar es de tal magnitud que genera cartografías que ni las máquinas ni los software SIG son capaces de manejar.

Es por tanto la cartografía ráster generalizada sobre la que se procede a su vectorización. El algoritmo de vectorización es una herramienta fundamental que permite convertir datos de imágenes ráster en capas vectoriales, lo que facilita su análisis y manipulación. Este proceso implica la detección de bordes y la identificación de características en una imagen ráster, y su conversión en elementos vectoriales; en este caso polígonos.

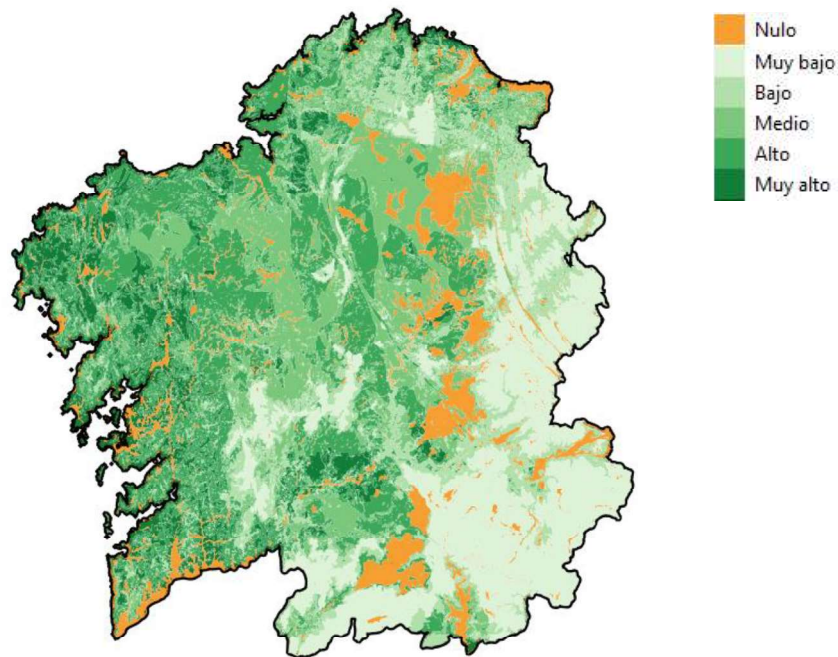


Figura 12 Potencialidad de plantación de pinaster en formato vector

Las cartografías vector procedentes de ráster, presentan los bordes de los polígonos con la geometría de los píxeles, dando una apariencia poco “natural”; como alternativa se presenta una cartografía adicional con dichos límites suavizados a formas más simples. El suavizado se realiza de tal modo que los polígonos contengan un número mínimo de segmentos mientras permanece lo más cerca posible de los bordes de la celda ráster original. Tiene por hándicap, cierto desajuste en los bordes del ámbito de estudio.



Figura 13 Suavizado a bordes de polígono; antes (izquierda) y después (derecha)

6 Entregables

Todas las cartografías que acompañan a esta memoria se refieren al potencial de plantación de *Pinus pinaster*, tras la aplicación de la metodología definida.

En todos los casos los valores se corresponden con la siguiente referencia de potencial de plantación del pinaster:

0. Nulo
1. Muy bajo
2. Bajo
3. Medio
4. Alto
5. Muy Alto

Se entrega la cartografía en varios formatos; todos los formatos ráster tiene resolución **25 metros**; y tanto vector como ráster se entregan con el **SRC EPSG 25829**

- Formato ráster sin generalizar: **Pinaster_Pot_Mask_LZW_Bruto.tif**
- Formato ráster aplicando generalización sobre grupos de 100 píxeles: **Pinaster_Pot_Mask_LZW_Sieve100.tif**
- Formato vector procedente del ráster con los bordes de teselas sin suavizar: **Pinaster_Sieve100_Pol_Pixel.shp**
- Formato vector procedente del ráster con los bordes de teselas suavizados: **Pinaster_Sieve100_Pol_Suavizado.shp**





**Servicio para la evaluación mediante
simulación del crecimiento de *Pinus
pinaster* y *Pinus radiata* bajo diferentes
escenarios de fertilización**

AXENCIA GALEGA DE CALIDADE ALIMENTARIA (AGACAL)

DOCUMENTO:

Servicio para la evaluación mediante simulación del crecimiento de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* bajo diferentes escenarios de fertilización

ENTREGA:

INFORME FINAL DE PROYECTO

CLIENTE:

AXENCIA GALEGA DE CALIDADE ALIMENTARIA (AGACAL)

FECHA:

24/08/2023



Control de versiones del documento

Data	Autor	Descripción	Versión
24-07-2023	Diego Aranda	Redacción del documento	1.0
10-08-2023	Fernando Pérez-Rodríguez	Correcciones y redacción	1.01
23-08-2023	Diego Aranda	Correcciones en simulaciones con datos de campo	1.02
24-08-2023	Fernando Pérez-Rodríguez	Correcciones finales y entrega	1.03

Revisiones/Validaciones

Autor	Versión	Responsabilidad	Rol	Fecha

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. METODOLOGÍA.....	8
2.1. Resolución de simulaciones.....	10
3. Resultados.....	12
3.1. Simulaciones a partir de datos obtenidos de mediciones de campo.....	12
3.1.1. Factor esquema silvícola.....	12
3.1.1.1. Simulación escenario silvícola PPI:.....	14
3.1.1.2. Simulación escenario silvícola PP2.....	15
3.1.1.3. Simulación escenario silvícola PP3.....	16
3.1.2. Factor inflación.....	17
3.1.3. Factor tasa de descuento.....	18
3.1.4. Factor precio de destinos.....	19
3.1.5. Factor caracterización de la masa.....	22
3.2. Simulaciones en incrementos diferenciales de H0 y G.....	23
3.3. Análisis de beneficio neto.....	26
4. Conclusiones.....	29
5. REFERENCIAS.....	30
ANEXO I: Definición de rango de precios I.....	33
ANEXO 1.1: Rango de precios I, Tasa de descuento 2% y N de 750.....	34
ANEXO 1.2: Rango de precios I, Tasa de descuento 2%, N=1000.....	35
ANEXO 1.3: Rango de precios I, Tasa de descuento 2%, N=1250.....	36
ANEXO 1.4: Rango de precios I, Tasa de descuento 3%, N=750.....	37
ANEXO 1.5: Rango de precios I, Tasa de descuento 3%, N=1000.....	38
ANEXO 1.6: Rango de precios I, Tasa de descuento 3%, N=1250.....	39

ANEXO 1.7: Rango de precios I, Tasa de descuento 4%, N=750.....	40
ANEXO 1.8: Rango de precios I, Tasa de descuento 4%, N=1000.....	41
ANEXO 1.9: Rango de precios I, Tasa de descuento 4%, N=1250	42
ANEXO 1.10: Rango de precios I, Tasa de descuento 5%, N=750.....	43
ANEXO 1.11: Rango de precios I, Tasa de descuento 5%, N=1000	44
ANEXO 1.12: Rango de precios I, Tasa de descuento 5%, N=1250.....	45
ANEXO 2. Definición de rango de precios II.....	46
ANEXO 2.1: Rango de precios II, Tasa de descuento 2%, N=750	47
ANEXO 2.2: Rango de precios II, Tasa de descuento 2%, N=1000.....	48
ANEXO 2.3: Rango de precios II, Tasa de descuento 2%, N=1250.....	49
ANEXO 2.4: Rango de precios II, Tasa de descuento 3%, N=750.....	50
ANEXO 2.5: Rango de precios II, Tasa de descuento 3%, N=1000.....	51
ANEXO 2.6: Rango de precios II, Tasa de descuento 3%, N=1250.....	52
ANEXO 2.7: Rango de precios II, Tasa de descuento 4%, N=750.....	53
ANEXO 2.8: Rango de precios II, Tasa de descuento 4%, N=1000	54
ANEXO 2.9: Rango de precios II, Tasa de descuento 4%, N=1250.....	55
ANEXO 2.10: Rango de precios II, Tasa de descuento 5%, N=750.....	56
ANEXO 2.11: Rango de precios II, Tasa de descuento 5%, N=1000.....	57
ANEXO 2.12: Rango de precios II, Tasa de descuento 5%, N=1250.....	59
ANEXO 3. Definición de rango de precios III.....	60
ANEXO 3.1: Rango de precios III, Tasa de descuento 2%, N=750.....	61
ANEXO 3.2: Rango de precios III, Tasa de descuento 2%, N=1000.....	62
ANEXO 3.3: Rango de precios III, Tasa de descuento 2%, N=1250.....	63
ANEXO 3.4: Rango de precios III, Tasa de descuento 3%, N=750.....	64
ANEXO 3.5: Rango de precios III, Tasa de descuento 3%, N=1000.....	65
ANEXO 3.6: Rango de precios III, Tasa de descuento 3%, N=1250	66
ANEXO 3.7: Rango de precios III, Tasa de descuento 4%, N=750.....	67

ANEXO 3.8: Rango de precios III, Tasa de descuento 4%, N=1000.....	69
ANEXO 3.9: Rango de precios III, Tasa de descuento 4%, N=1250.....	70
ANEXO 3.10: Rango de precios III, Tasa de descuento 5%, N=750.....	71
ANEXO 3.11: Rango de precios III, Tasa de descuento 5%, N=1000.....	72
ANEXO 3.12: Rango de precios III, Tasa de descuento 5%, N=1250.....	73

1. INTRODUCCIÓN

En este primer informe se muestran los avances para la consecución del objetivo principal del proyecto, que es el estudio mediante simulaciones de crecimiento de plantaciones de *P. pinaster* y *P. radiata* en diferentes escenarios con fertilización y sin fertilización para tratar de evaluar si este tratamiento es rentable (o no).

En primer lugar, y como parte principal de este proyecto, se ha tenido que desarrollar una herramienta informática para simulación de los diferentes escenarios. Esta herramienta es, brevemente, un simulador de crecimiento en el que se pueden establecer diferentes estados de la masa de partida (como inputs), diferentes esquemas selvícolas, diferentes aplicaciones o actuaciones y diferentes variables económicas como precios, inflación y tasas de retorno. Es necesario recalcar que este desarrollo es necesario para la obtención de los resultados de este proyecto que serán entregados al final de este.

2. METODOLOGÍA

Se ha utilizado para el desarrollo del simulador las ecuaciones de los modelos dinámicos de las especies *P. pinaster* y *P. radiata*, así como sus ecuaciones de perfil para la desagregación de productos, de Dieguez-Aranda et al. (2009).

Con las ecuaciones del modelos dinámico se puede establecer el crecimiento en Altura dominante (H_0) y área basal (G) en el tiempo. Con respecto a la densidad, la mortalidad no es tenida en cuenta ya que los propios autores de Dieguez-Aranda et al. (2009) no contemplan mortalidad para estas especies. Al implementar estos modelos, ya se puede predecir el crecimiento de la masa según unos inputs iniciales.

Además, se tienen en cuenta el itinerario selvícolas a aplicar para cada especie. Por ello se ha desarrollado la posibilidad de que se calcule el área basimétrica, así como el volumen (desagregado en diferentes destinos) en cada clara efectuada. Para ello se realiza una distribución Weibull bi-paramétrica para obtener la distribución diamétrica y en consecuencia extraer en numero de pies de cada clase en cada operación.

Con respecto al calculo de los flujos de caja, el simulador incorpora la posibilidad de introducir tareas/actividades que producen un flujo positivo o negativo en caja. Además, los productos cosechados son segregados en destinos con un precio dado a cada uno. Todos los valores económicos (precios/costes) son actualizados mediante el calculo del VAN añadiendo un efecto de inflación calculándose una tasa de descuento real.

Todo ello hace que se puedan evaluar escenario en los que se pueden jugar con las siguientes variables:

Tabla 1: variables con las que se pueden jugar a la hora de establecer escenarios y/o simulaciones.

Estado de la masa	
N	densidad inicial
H_0	altura dominante
G	área basimétrica

Edad	Edad de la masa
Esquema silvícola	
Peso de la clara	Numero de pies a extraer en la clara
Número máximo de claras	Se establece el máximo de claras que se desean establecer en la simulación. (También se pueden fijar)
Años frecuencia entre claras	Se establece el periodo mínimo entre operaciones (incluida corta final)
Edad mínima de la primera clara	Se establece la edad a partir de la cual se inicia la reducción de pies por clareos/claras.
Datos económicos	
Tasa de descuento	Se establece la tasa de descuento necesaria para el calculo del Valor Actual Neto (VAN) necesario para la evaluación de rentabilidad económica
Tasa de inflación	Se establece una tasa de inflación media para todo el periodo de simulación para la actualización de precios.
Desagregación de destinos	Se establece la información necesaria para la desagregación en destinos en una corta. Existe la posibilidad de establecer hasta 5 destinos. Cada uno lleva asociado un diámetro en punta delgada, una longitud de trozas, y un precio por destino. Adema de establecer un precio (positivo o negativo) para los restos.
Tratamientos y operaciones (listado)	
Definición	Descripción de la tarea a realizar (por ejemplo: plantación)
Año desde la plantación	Año en el que se realiza el tratamiento u operación
Coste	Coste total (por hectárea) de la operación
Beneficio	Beneficio (por hectárea) de la operación
Incremento en IS	Incremento estimado que la operación tiene sobre el índice de sitio en la plantación en %.
Incremento en G	Incremento en área basimétrica que la operación tiene en la plantación en %.

Incremento gradual	Numero de años en los que se reparte el incremento gradual.
--------------------	---

Con todas estas variables, se pueden establecer escenarios para poder evaluar la rentabilidad (o no) de las simulaciones realizadas.

2.1. Resolución de simulaciones

Como resultado de esta primera fase, se muestra en simulador que se va a utilizar para la obtención de los resultados a entregar al final del proyecto.

Este simulador tiene la apariencia que se muestra en la Imagen 1. En esta imagen puede apreciar los formularios para poder ingresar los datos. En la Imagen 2 se puede apreciar un ejemplo de resultados expuestos en una tabla en el mismo programa.

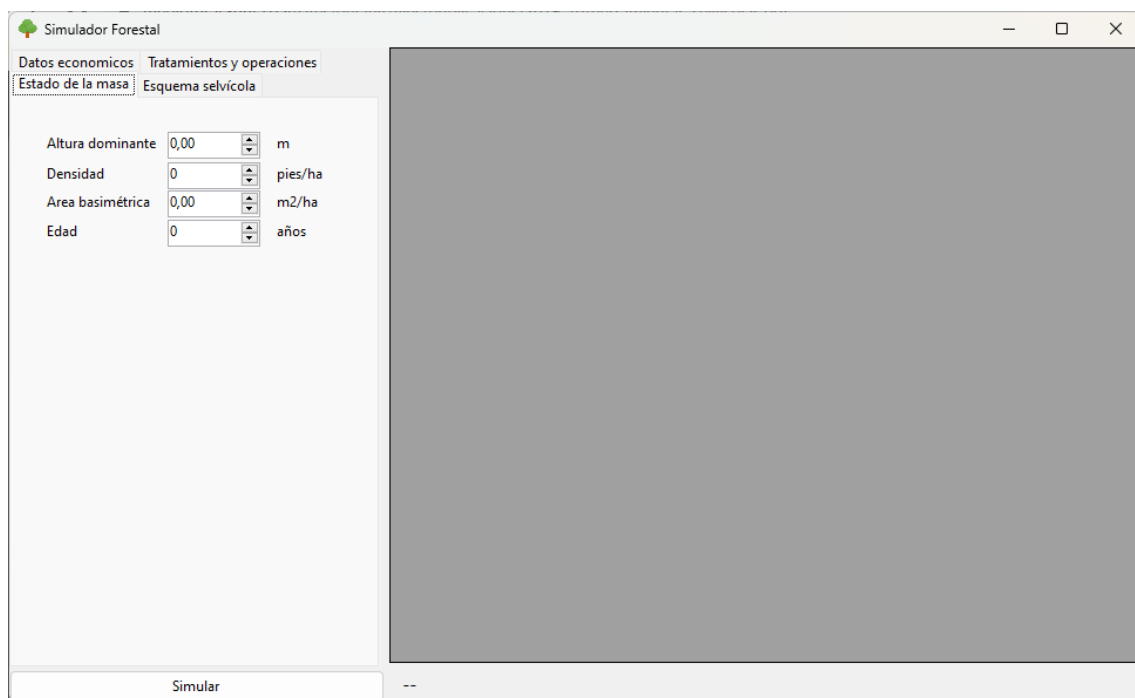


Imagen 1. pantalla inicial del simulador que se ha desarrollado para poder simular los diferentes escenarios.

Servicio para la evaluación mediante simulación del crecimiento de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* bajo diferentes escenarios de fertilización

Simulador Forestal

Detalles económicos

Talantes y operaciones

Estado de la masa

Esquema selvático

Altura dominante

0,00

m

Densidad

1000

pies/ha

Área basimétrica

0,00

m²/ha

Edad

10

años

	I	HD	IV	D	VCC	W	C	CM	CC	He	Ge	He	Ve_d1	Ve_d2	Ve_d3	Ve_d4
10	9	1000	17,43	86,32	34,68	16,61	6,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8,89	1000	21,35	86,9	45,83	21,95	7,89	20,28	0	0	0	0	0	0	0	0
12	8,75	1000	25,33	106,12	56,29	27,82	9,09	22,32	0	0	0	0	0	0	0	0
13	10,59	1000	29,3	133,16	71,91	34,44	10,24	24,04	0	0	0	0	0	0	0	0
14	11,4	1000	33,24	158,62	86,5	41,43	11,33	25,45	0	0	0	0	0	0	0	0
15	12,17	1000	37,1	185,2	101,91	48,62	12,35	26,58	0	0	0	0	0	0	0	0
16	12,92	1000	40,88	212,64	117,99	56,52	13,29	27,44	0	0	0	0	0	0	0	0
17	13,63	1000	44,56	240,71	134,6	64,47	14,16	28,07	0	0	0	0	0	0	0	0
18	14,32	1000	48,13	269,21	151,59	72,61	14,96	28,5	0	0	0	0	0	0	0	0
19	14,97	1000	51,58	297,97	168,67	80,89	15,68	28,75	0	0	0	0	0	0	0	0
20	15,6	1000	54,92	326,81	186,34	89,25	16,34	28,85	0	0	0	0	0	0	0	0
21	16,19	1000	58,15	355,63	203,89	97,66	16,93	28,91	0	0	0	0	0	0	0	0
22	16,76	1000	61,26	384,3	221,45	106,09	17,47	28,97	0	0	0	0	0	0	0	0
23	17,31	1000	64,27	412,73	239,57	114,47	17,94	29,43	0	0	0	0	0	0	0	0
24	17,83	1000	67,16	440,85	258,38	122,81	18,37	29,52	0	0	0	0	0	0	0	0
25	18,32	1000	69,95	468,6	276,63	131,07	18,74	29,75	0	0	0	0	0	0	0	0
26	18,8	1000	72,64	495,92	295,49	139,24	19,07	29,82	0	0	0	0	0	0	0	0
27	19,25	1000	75,24	522,78	313,53	147,31	19,36	29,88	0	0	0	0	0	0	0	0
28	19,68	1000	77,74	549,14	331,11	155,25	19,61	29,96	0	0	0	0	0	0	0	0
29	20,08	1000	80,16	574,97	348,41	163,06	19,83	29,94	0	0	0	0	0	0	0	0
30	20,48	1000	82,49	600,28	356,43	170,73	20,01	29,3	400	19,66	158,88	0	0	0	0	61,67
31	20,86	600	64,86	490,37	294,57	141,1	15,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	21,22	600	66,83	510,97	310,64	147,36	15,97	20,59	0	0	0	0	0	0	0	0
33	21,56	600	68,75	531,15	326,47	153,5	16,1	20,18	0	0	0	0	0	0	0	0
34	21,99	600	70,6	550,91	343,05	159,53	16,2	19,76	0	0	0	0	0	0	0	0
35	22,21	600	72,41	570,25	343,39	165,44	16,29	19,34	0	0	0	0	0	0	0	0
36	22,51	600	74,16	589,17	357,48	171,23	16,37	18,92	0	0	0	0	0	0	0	0
37	22,8	600	75,86	607,67	369,32	176,9	16,42	18,5	0	0	0	0	0	0	0	0
38	23,07	600	77,51	625,75	380,91	182,43	16,47	18,08	0	0	0	0	0	0	0	0
39	23,34	600	79,11	643,41	392,24	187,88	16,5	17,66	0	0	0	0	0	0	0	0
40	23,6	600	80,67	660,67	403,32	193,19	16,52	17,26	0	0	0	0	0	0	0	0
41	23,84	600	82,19	677,52	414,16	198,38	16,52	16,85	0	0	0	0	0	0	0	0
42	24,07	600	83,66	693,98	424,75	203,46	16,46	16,46	600	83,66	693,98	5,16	124,97	308,78	235,48	

Flujo positivo: 0€ - Flujo negativo: 0€ = 0€

Imagen 2: ejemplo de resultado de una simulación

Para finalizar, como se prevé que el número de simulaciones sea alto, el simulador también puede ser llamado por la línea de comandos para poder iterar un listado de simulaciones con diferentes inputs.

3. Resultados

Nuestro objetivo en este informe es conocer en qué situaciones es rentable aplicar la fertilización en comparación con no fertilizar. Para ello utilizamos un simulador. Hay tres tipos de factores que afectan al resultado de la simulación: factores económicos (relacionado con el precio de la madera y la economía en general como los precios de venta de la madera(€), la inflación(IPC) y la tasa de descuento(%)), factores de explotación (relacionado con la explotación del bosque como las claras cortadas, el peso (%) y el coste(€) de ellas, la plantación y el coste(€) de plantación con fertilización) y por último, las características del bosque en el momento de la medición(HO-altura dominante(m), G-área basimétrica(m²/ha), N-densidad del bosque(pies/ha) y edad(años)).

En este proyecto vamos a usar como factores constantes las aplicaciones: una clara a los 15 años cortando un peso del 20% y otra clara a los 25 años, teniendo un peso del 15%

Todas las claras tienen un coste fijo de 1100 euros.

También dejaremos fijo el precio de la plantación en el año 0, donde la plantación sin fertilización cuesta 3000 euros, y la plantación con fertilización cuesta 3300 euros.

3.1. Simulaciones a partir de datos obtenidos de mediciones de campo.

Se realizarán a continuación diferentes simulaciones utilizando las mediciones obtenidas en campo de la parcela fertilizada y la parcela sin fertilizar.

3.1.1. Factor esquema silvícola

Los inputs utilizado para estas simulaciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Datos de las mediciones de la parcela fertilizada

Variable	Parcela fertilizada	Parcela sin fertilizar
H0	7	6,6
edad	7	7
G	6,78	4,76
N	1250	1250

A partir de estos datos de campo, estableceremos una tasa de descuento fija igual al 2% y los precios de desagregación por destinos que se establecen en la Tabla 3.

Tabla 3: desagregación por destinos en simulación de parcela fertilizada

Destino	Diámetro en punta delgada	Precio (€/m3)
Destino 1	70	120
Destino 2	50	90
Destino 3	40	70
Destino 4	30	30
Destino 5	10	10
Restos	0	10

Se aplican tres escenarios de esquema silvícola (Tabla 4)

Tabla 4: Descripción de modelos silvícolas aplicados

Modelo	1ª Clara	2ª Clara	Corta final
PP1	15 años dejar 750-900 pies/ha	25 años opcional, dejando unos 650-700 pies/ha	Se corta con criterio de máxima renta en especie
PP2	15 años dejar 650- 700 pies/ha	25 años Dejar 400 pies/ha	Se corta con criterio de máxima renta en especie.
PP3	10 años Extraer 450 pies/ha	15 años Extraer. 250 pies/ha	25 años

3.1.1.1. Simulación escenario silvícola PPI:

Para ajustar el modelo silvícola de PPI, se aplicarán dos claras extrayendo el 25% de los árboles, la primera a los 15 años y la segunda a los 25 años. Los resultados se muestran en la Imagen 3.

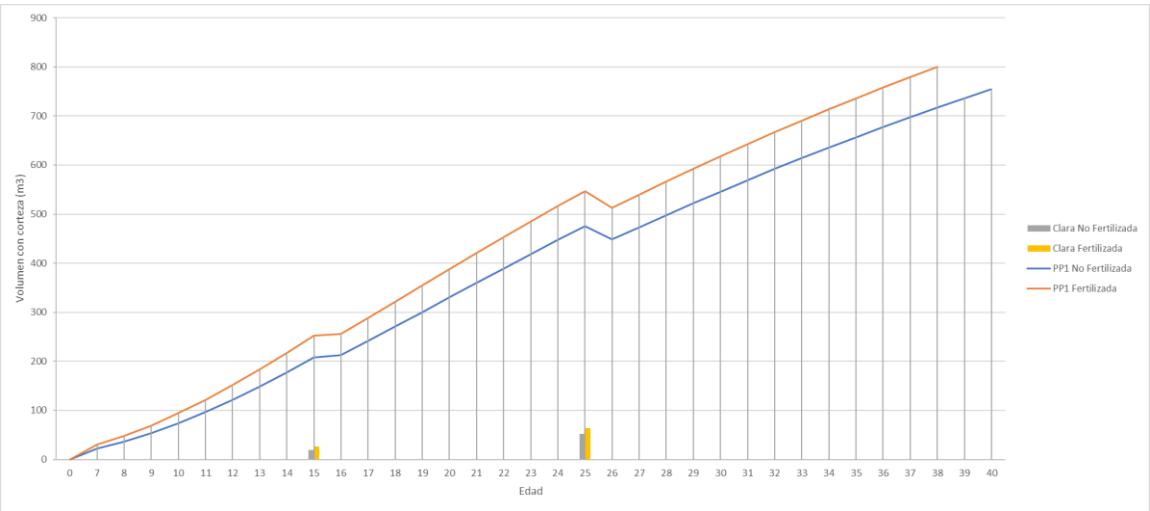


Imagen 3: gráfica comparativa entre la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PPI

Con respecto al volumen extraído por destinos, en la parcela fertilizada se alcanza mayor volumen en destinos mejor pagados en comparación a la parcela no fertilizada, tal y como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5: Desagregación por destinos (volumen en corta final) extraído en la simulación de la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PPI.

Destino	No Fertilizada	Fertilizada
Destino 1	0	0
Destino 2	2,16	4,42
Destino 3	71,53	95,05
Destino 4	271,76	306,03
Destino 5	413,83	411,64
Restos	16,30	15,35

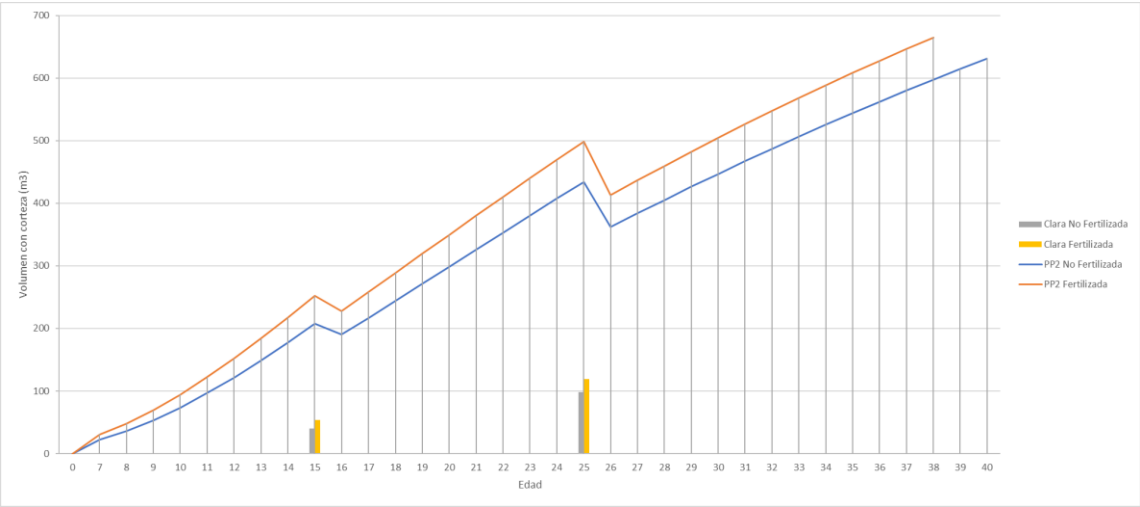
Resultados del Valor añadido neto de la inversión realizada:

VAN Sin Fertilizar: 4877,19€

VAN Fertilizado: 6579,41€

3.1.1.2. Simulación escenario silvícola PP2

Para ajustar la masa forestal de partida al escenario silvícola PP2, se aplicará una primera clara del 40% a los 15 años y una segunda clara del 40% a los 25.



Con respecto al volumen extraído por destinos, en la parcela fertilizada se extrae más volumen en destinos mejor pagados que en la parcela no fertilizada, tal y como se puede observar en la Tabla 6:

Tabla 6: Desagregación por destinos (volumen en corta final) extraído en la simulación de la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PP2.

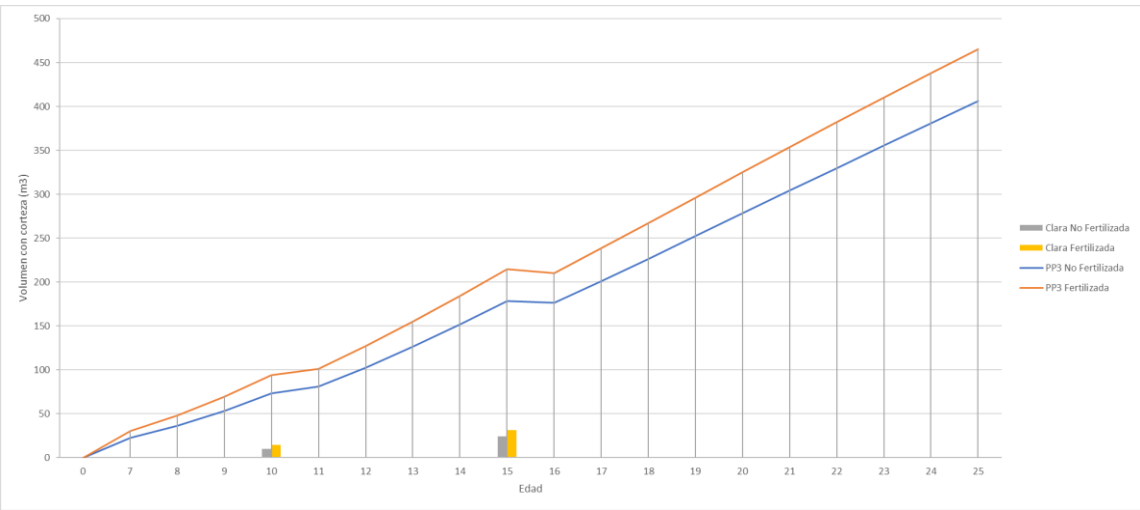
Destino	No Fertilizada (m3)	Fertilizada (m3)
Destino 1	0	0
Destino 2	26,25	33,72
Destino 3	150,92	168,75
Destino 4	270,87	280,93
Destino 5	243,03	238,45
Restos	9,86	9,59

VAN Sin Fertilizado: 7719,27€

VAN Fertilizar: 9458,28715€

3.1.1.3. Simulación escenario silvícola PP3

Para ajustar la masa forestal del partida al escenario silvícola PP3, se aplicará una primera clara a los 10 años del 35%, y una segunda clara a los 15 años del 30%, realizando la corta final a los 25 años.



Aplicando este modelo silvícola, se nota una diferencia entre los volumen por destinos mejor valorados entre la parcela fertilizada y la no fertilizada, sin embargo, esta no es tan grande como en los anteriores modelos PP1 y PP2, como se puede observar en la Tabla 7. Se ha de mencionar que aplicando este modelo PP3, la corta final se realiza de manera muy prematura con respecto a un turno de corta con criterio de máxima renta en especie.

Tabla 7: Desagregación por destinos (volumen en corta final) extraído en la simulación de la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PP3.

Destino	No Fertilizada	Fertilizada
Destino 1	0	0
Destino 2	0	0
Destino 3	1,49	6,14

Destino 4	76,29	130,15
Destino 5	294,46	309,06
Restos	13,26	12,49

VAN Sin Fertilizado: -1135,15€

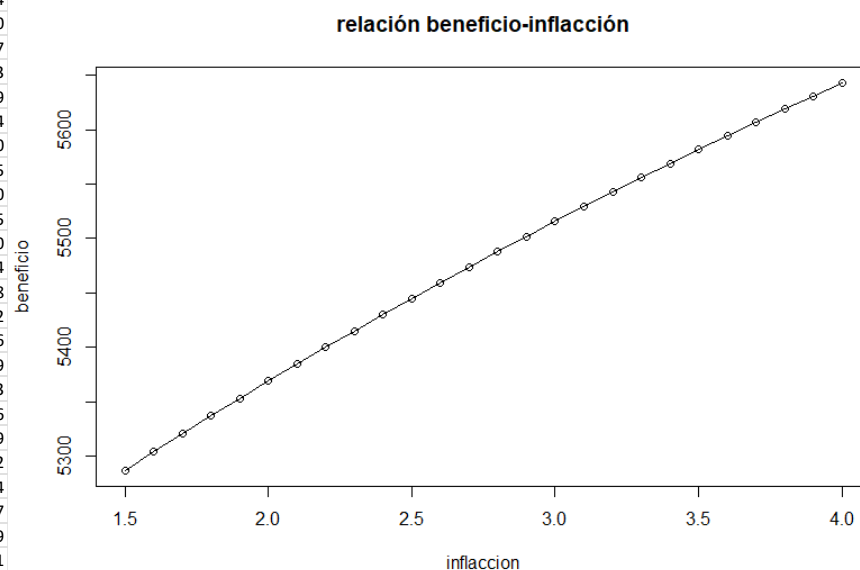
VAN Fertilizar: 75,08€

3.1.2. Factor inflación

Si variamos la inflación entre los valores 1,5 y 4 se observan los siguientes resultados (Tabla 8):

Tabla 8: resultados de la variación de la inflación en el posible retorno de la inversión

inflacion	beneficio
1,5	5287
1,6	5304
1,7	5320
1,8	5337
1,9	5353
2	5369
2,1	5384
2,2	5400
2,3	5415
2,4	5430
2,5	5445
2,6	5460
2,7	5474
2,8	5488
2,9	5502
3	5516
3,1	5529
3,2	5543
3,3	5556
3,4	5569
3,5	5582
3,6	5594
3,7	5607
3,8	5619
3,9	5631
4	5643



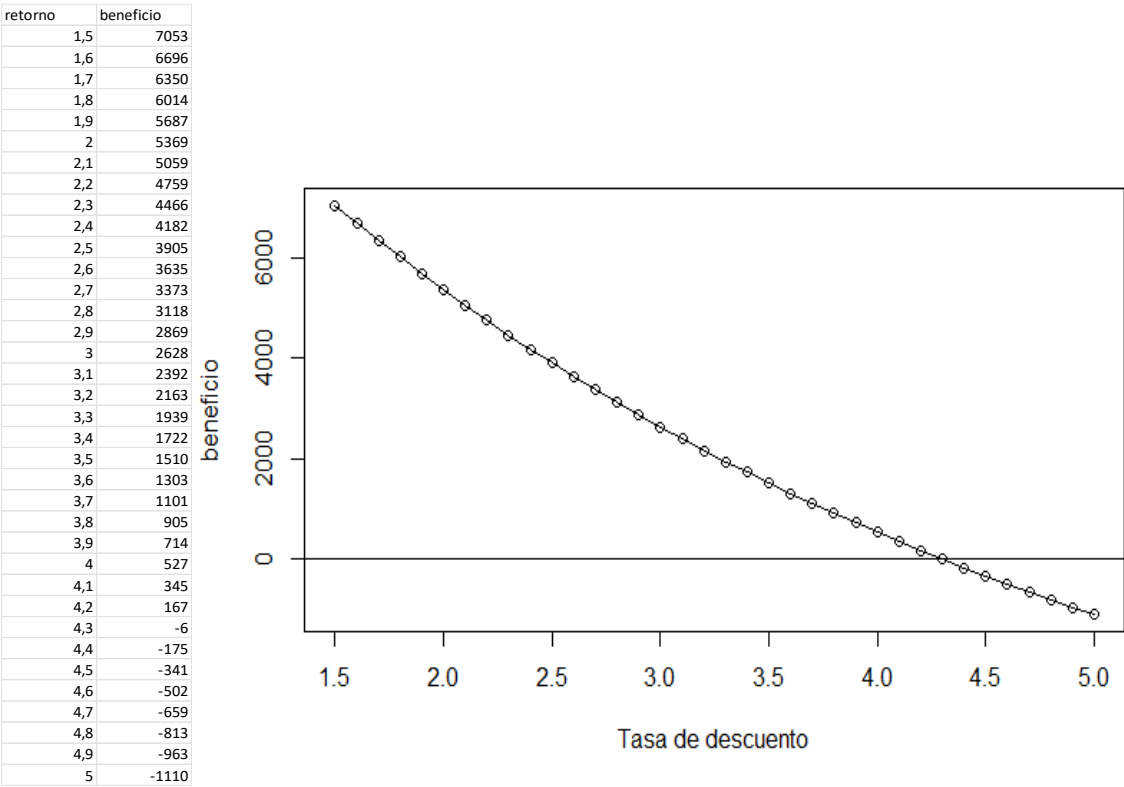
Notar que hay un aumento del beneficio cuanto mayor sea la inflación, pero el aumento es mínimo, (el valor máximo entre el valor mínimo es sólo un uno por ciento mayor). Por lo que concluimos que la inflación no afecta en exceso al beneficio obtenido, por lo que a partir de ahora para las siguientes simulaciones vamos a fijar la inflación=2.

Para todas las simulaciones se obtiene la edad de la corta final de 37 años. (algo lógico ya que no se varía las características del bosque que alterarían la edad de la corta final, solo las variables económicas)

3.1.3. Factor tasa de descuento

Variando la tasa de descuento entre 1,5% y 5%, y utilizando los mismos inputs que antes (con inflación fija=2) se obtienen los siguientes resultados de la simulación (Tabla 9):

Tabla 9: resultados de la variación de la tasa de descuento en el posible retorno de la inversión



Notar que, en este caso, la tasa de descuento sí altera notarialmente el beneficio obtenido. A mayor tasa de descuento, el beneficio disminuye notablemente, teniendo incluso pérdidas en valores altos de la tasa de descuento. Por lo que es necesario tener en cuenta la tasa de descuento para las simulaciones finales.

3.1.4. Factor precio de destinos

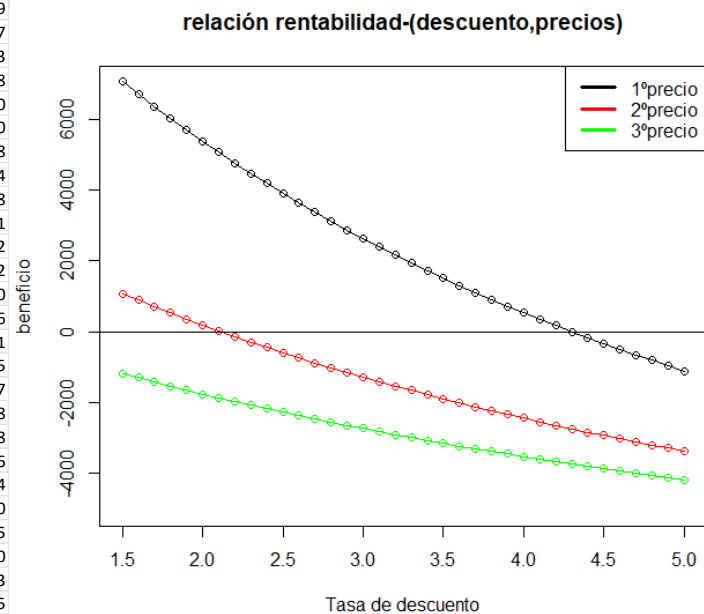
Los precios de la madera también pueden variar notablemente. Vamos a usar tres clases de precios. El precio está indicado en euros por metro cúbico. Los precios altos (precio1) son 120€ para 70cm de diámetro, 90€ para 50cm, 70€ para 40cm, 30€ para 30cm, 10€ para 10cm y 5€ para serrín. La segunda clase de precios (precio2), se consideran 10 euros menos para cada tipo de madera, que sería: 110€ para 70cm de diámetro, 80€ para 50cm, 60€ para 40cm, 20€ para 30cm, 0€ para 10cm y 0€ para restos. La tercera clase de precios (precio3) se considera 10 euros menos por metro cúbico que la tercera. Sería: 100€ para 70cm de diámetro, 70€ para 50cm, 50€ para 40cm, 10€ para 30cm, 0€ para 10cm y 0€ para restos.

Creamos tres posibilidades de precios ya que no sabemos qué precio tendrá la madera en el momento de la venta.

Como ya que sabemos que la tasa de descuento es muy influyente en el beneficio, obtenemos la simulación para distintos los valores de retorno, así como de los diferentes precios (Tabla 10).

Tabla 10: Simulaciones con diferentes escenarios de precios y diferentes tasas de descuento (desde 1,5% a 5%)

descuento	precio1	precio2	precio3
1,5	7053	1073	-1180
1,6	6696	885	-1302
1,7	6350	702	-1422
1,8	6014	525	-1538
1,9	5687	351	-1651
2	5369	183	-1762
2,1	5059	18	-1870
2,2	4759	-142	-1975
2,3	4466	-298	-2078
2,4	4182	-450	-2179
2,5	3905	-598	-2277
2,6	3635	-743	-2373
2,7	3373	-884	-2468
2,8	3118	-1021	-2560
2,9	2869	-1156	-2650
3	2628	-1287	-2738
3,1	2392	-1415	-2824
3,2	2163	-1539	-2908
3,3	1939	-1661	-2991
3,4	1722	-1780	-3072
3,5	1510	-1897	-3152
3,6	1303	-2011	-3230
3,7	1101	-2122	-3306
3,8	905	-2231	-3381
3,9	714	-2337	-3455
4	527	-2441	-3527
4,1	345	-2543	-3598
4,2	167	-2643	-3668
4,3	-6	-2740	-3736
4,4	-175	-2836	-3804
4,5	-341	-2930	-3870
4,6	-502	-3022	-3935
4,7	-659	-3112	-4000
4,8	-813	-3200	-4063
4,9	-963	-3287	-4125
5	-1110	-3372	-4187



Notar que hay mucha diferencia entre los beneficios debida a los precios. Tomando un valor fijo de descuento, los valores del beneficio varían notablemente dependiendo de la clase de precio a la que se venda la madera. De hecho, los valores son negativos para el tercer rango de precios. Esto indica que no es rentable realizar la plantación con fertilización. (no indica que no sea rentable la plantación sin fertilización). En el segundo nivel de precios, sólo es rentable realizar la fertilización con valores de descuento menores de 2,1. (como antes, no podemos decir nada de si es más rentable que no fertilizar)

Para todas las simulaciones se obtiene la edad de la corta final de 37 años. (algo lógico ya que no se varía las características del bosque que alterarían la

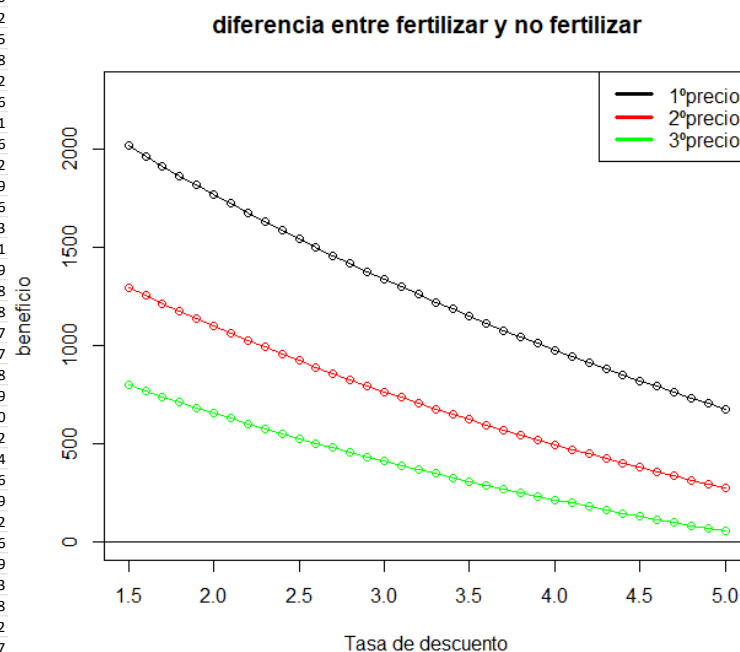
edad de la corta final, solo se varían las variables económicas, que alteran el beneficio).

Vamos a comparar los resultados de la parcela fertilizada frente a la parcela sin fertilización, para observar si es rentable la fertilización. Para ello simulamos la parcela sin fertilización para los distintos escenarios anteriores (variando la tasa de descuento entre 1,5% y 5% y variando los precios entre las tres clases anteriores, con la inflación fija = 2). Utilizamos las características del bosque de los datos recibidos de Lourizán para la parcela sin fertilizar (HO=6.6, G=4.76, N=1250 y edad=7) para simular como sería el beneficio obtenido.

Las diferencias (resta) entre el beneficio de la parcela fertilizada y la parcela sin fertilización para los siguientes retornos y precios son (Tabla 11):

Tabla 11: Diferencia (Resta) entre las simulaciones de la parcela fertilizada y no fertilizada en los diferentes escenarios de precios y con diferentes tasas de descuento (desde 1,5 a 5%)

retorno	precio1	precio2	precio3
1,5	2016	1296	798
1,6	1965	1255	768
1,7	1915	1215	739
1,8	1865	1175	710
1,9	1817	1137	682
2	1769	1099	655
2,1	1722	1062	628
2,2	1676	1026	602
2,3	1631	991	576
2,4	1586	957	551
2,5	1543	923	526
2,6	1500	890	502
2,7	1458	857	479
2,8	1417	826	456
2,9	1376	795	433
3	1336	764	411
3,1	1297	735	389
3,2	1259	706	368
3,3	1221	677	348
3,4	1184	649	327
3,5	1148	622	307
3,6	1112	595	288
3,7	1077	569	269
3,8	1043	544	250
3,9	1009	518	232
4	976	494	214
4,1	944	470	196
4,2	912	446	179
4,3	881	423	162
4,4	850	401	146
4,5	820	379	129
4,6	790	357	113
4,7	761	336	98
4,8	733	315	82
4,9	705	294	67
5	677	274	53



Como se ve en el gráfico, en este caso, siempre es más rentable fertilizar que no, independientemente de la tasa de descuento y del precio, ya que la diferencia siempre es mayor que 0. A mayores precios y menores tasas de

retorno, es más rentable la fertilización. Aun así, hay que tener en cuenta que, a veces, tampoco es rentable plantar con fertilización (gráfico anterior). Aun así, la diferencia entre fertilizar y no fertilizar siempre es positiva.

Concretando, para las parcelas de prueba del experimento, en los casos que el beneficio de plantar con fertilizante es mayor (ver el apartado anterior) que cero, es recomendable fertilizar, ya que la diferencia con la parcela sin fertilizar es siempre mayor a cero.

En este caso hemos comparado las dos parcelas teniendo diferentes densidades ya que hemos asumido que en un inicio se plantaron la misma densidad de árboles, pero que en la parcela con fertilización se ha producido algo más de mortalidad antes de la medición.

3.1.5. Factor caracterización de la masa

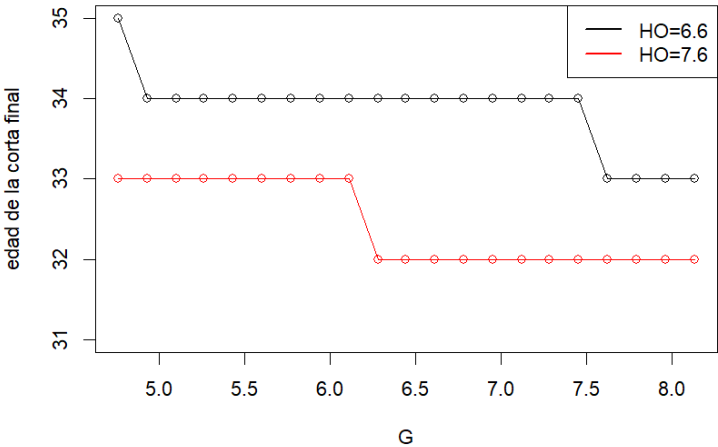
Una vez que sabemos cuáles son las variables económicas que más afectan al beneficio de la plantación (tasa de descuento y precio de la madera), vamos a comparar los resultados de la simulación modificando diferentes características del bosque. Aunque en principio, en el experimento tengamos un bosque fijo (las dos parcelas), las diferencias entre la parcela fertilizada y no fertilizada pueden estar influidas también por otros factores, no exclusivamente el fertilizante. Para que este documento sirva para otras parcelas que tienen diferentes características (HO, G, N y edad) y poder compararlas vamos a realizar una serie de tablas en diferentes situaciones y características.

En este caso, para los bosques de árboles de más edad o más grandes (mayor HO o G para N constante), el resultado de la simulación indica que la corta final se realiza en una cantidad menor de años.

Variando el HO y el G para una edad constante (7 años) y un N=703 pies/ha constante se obtienen los siguientes valores de la edad del bosque (años) en la que realiza la corta final:

Tabla 12. Diferencia en la edad de turno (máxima renta en especie) para los valores de H_0 de la parcela fertilizada y no fertilizada y diferentes variaciones de G (desde 4,76 a 8,13)

G	HO=6,6	HO=7,6
4,76	35	33
4,93	34	33
5,1	34	33
5,26	34	33
5,43	34	33
5,6	34	33
5,77	34	33
5,94	34	33
6,11	34	33
6,28	34	32
6,44	34	32
6,61	34	32
6,78	34	32
6,95	34	32
7,12	34	32
7,28	34	32
7,45	34	32
7,62	33	32
7,79	33	32
7,96	33	32
8,13	33	32



3.2. Simulaciones en incrementos diferenciales de H_0 y G .

Se observa que, cuando aumentamos el valor de G como de H_0 , la edad a la que se realiza la corta final es menor. Entonces a veces puede ser que árboles más grandes produzcan beneficios algo menores que otros más pequeños, pero los producen antes. Para evitar esta diferencia y poder comparar diferentes tipos de plantaciones utilizaremos la medida de beneficio medio que se obtiene cada año.

Notar que la variación de factores económicos no afecta a la edad de la corta final, ya que este simulador simula la gestión dependiendo del estado de la madera, no de las variables económicas. Hay que recordar que la aplicación de las claras la hemos tomado como fija, por lo que tampoco afecta a la edad de la corta final.

Vamos a representar para tres densidades diferentes ($N=750$, $N=1000$, $N=1250$), la edad a la que los árboles son cortados (resultado de simulador) dependiendo de las características del bosque (H_0 y G). La edad de los

árboles en el momento de la medición se mantiene fija en 7 años. (edad a la que se ha realizado la medición) (Imagen 4, 5 y 5 respectivamente)

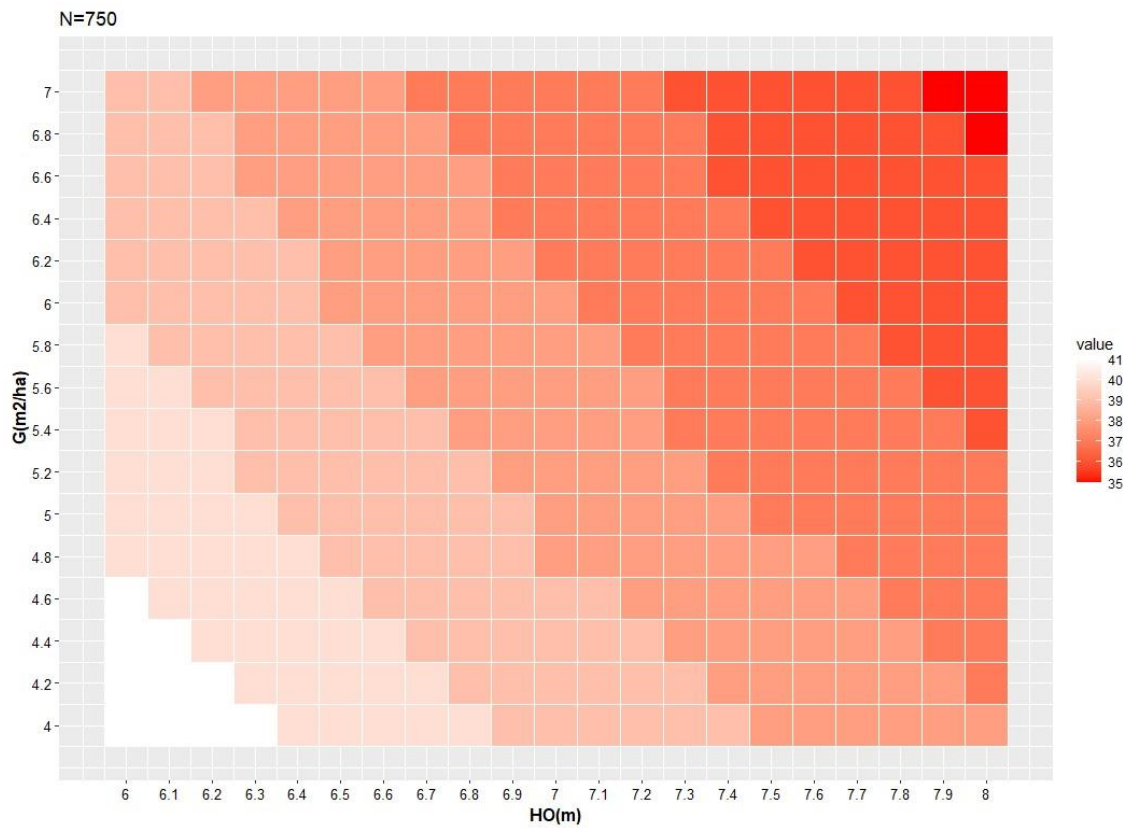


Imagen 4: relación de edad de turno con diferentes valores de G y H_0 para una densidad de 750 pies por hectárea

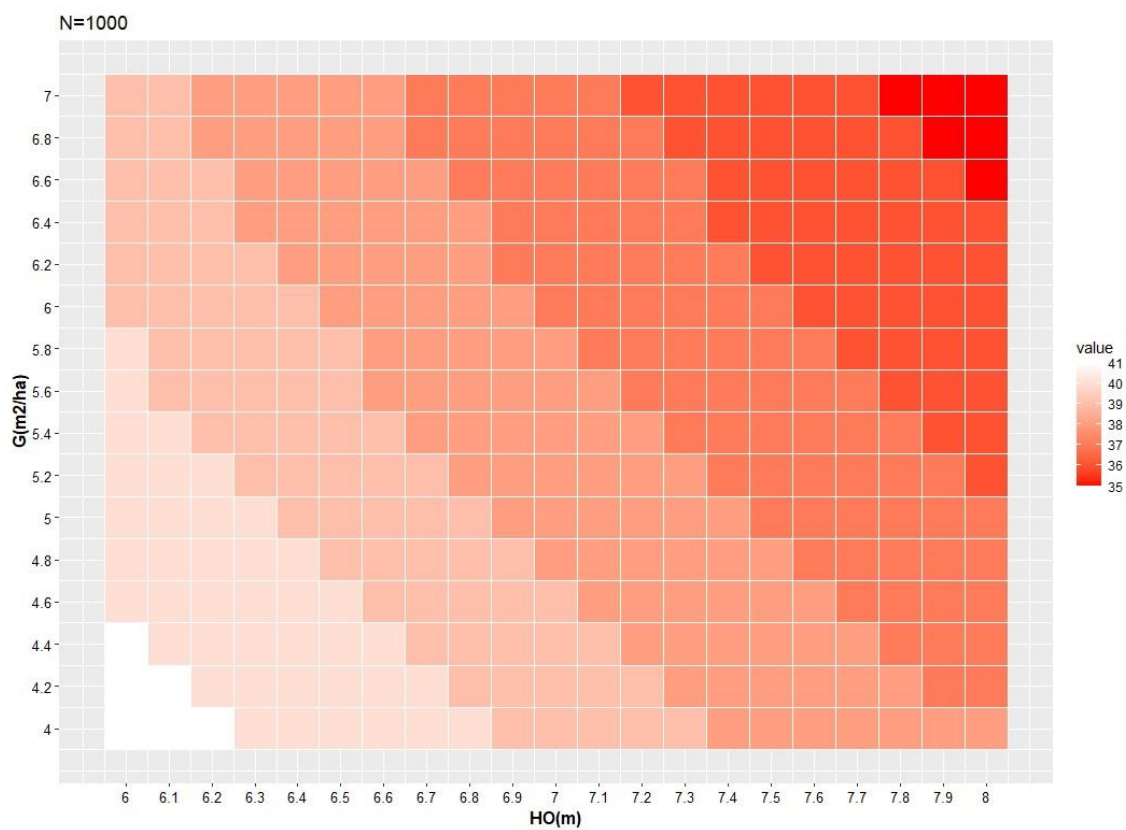


Imagen 5: relación de edad de turno con diferentes valores de G y H_0 para una densidad de 1000 pies por hectárea

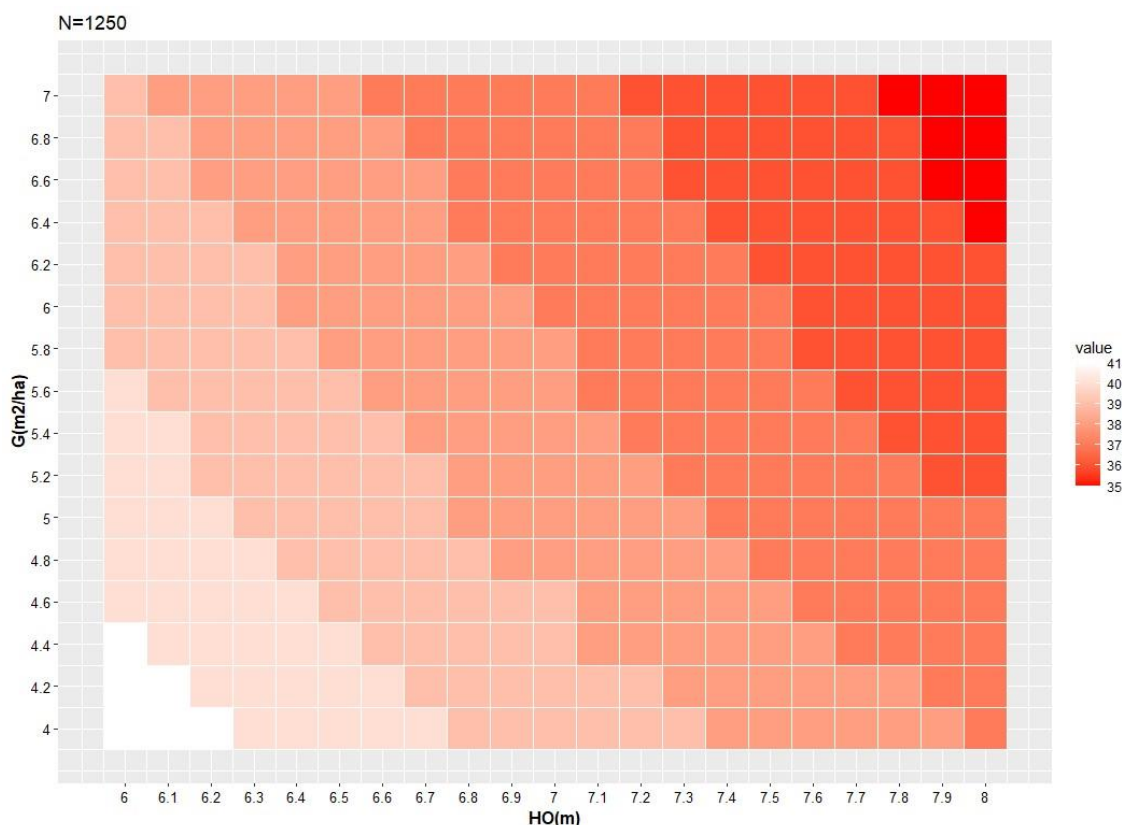


Imagen 6: relación de edad de turno con diferentes valores de G y H_0 para una densidad de 1250 pies por hectárea

Por lo que se puede observar, que independientemente de las densidades, con valores mayores de H_0 y valores mayores de G se obtiene la corta final a menores edades. También se observa que, a densidades (N) mayores, hay más casos en los que los árboles son cortados a edades menores. Por ejemplo, en una edad de 35 años, con una densidad de 750 hay tres casos, con densidad de 1000 hay 6 casos y con 1250 pies por hectárea hay 8 casos.

3.3. Análisis de beneficio neto

A partir de este punto vamos a ver el beneficio en euros que producen las plantaciones dependiendo del estado de la masa en el momento de la medición.

Como hemos visto anteriormente, el beneficio de la fertilización está muy influenciado por los precios y los valores del retorno. Por ello haremos distinciones entre ellos, utilizando tres rangos de precios y retornos entre 2 y 5.

Vamos a estudiar un caso diferente para cada precio, retorno y densidad de bosque (tres densidades, $N=750\text{pies/ha}$, $N=1000\text{pies/ha}$ y $N=1250\text{pies/ha}$), con una edad de medición fija (7 años, momento en el que se realiza la medición). También mantendremos fija la inflación=2, así como las claras realizadas (una clara a los 15 años cortando un peso del 20% y otra clara a los 25 años, teniendo un peso del 15%) El coste de las claras es de 1100 €. Se realiza una plantación inicial con fertilización que cuesta 3300€.

Variaremos las condiciones iniciales del bosque (HO y G) para simular diferentes situaciones que se podrían dar.

A partir de este momento, las unidades de medida se encuentran en beneficio por año (€). Esto es debido al apartado anterior, dependiendo de las condiciones del bosque (HO y G) la corta final se produce a distinta edad. Así eliminamos el efecto que tiene la edad en el beneficio, ya que siempre es preferible para un beneficio igual, que se produzca en una cantidad menor de años.

La primera fila indica las unidades de G y la primera columna indica las unidades de HO.

Vamos a dar varios apuntes antes de representar los resultados. Para cada valor de tasa de descuento (2,3,4,5%), con una inflación fija=2, los gastos totales (saldo negativo) se mantienen constantes, con valores de 5132, 5252, 5409, 5599€. Esto es debido a que en todas las simulaciones se realizan dos claras con un coste fijo de 1100€ y la inversión inicial de 3300€ es la misma. En ocasiones, al aumentar los valores de G y HO, como hemos visto anteriormente, se disminuye la edad de la corta final. Aunque el saldo positivo/edad de corta aumenta siempre que aumentamos los valores de HO y G (como cabría esperar ya que los árboles son de mayor calidad en la edad de medición=7 años), hay ocasiones en las que el beneficio neto (saldo positivo-saldo negativo) /edad de corta final no aumenta. Es por ello por lo

que, en alguna gráfica, especialmente con valores altos de retorno y precios bajos, nos encontramos algunos descensos en el beneficio anual cuando aumentamos la variable G e incluso que haya situaciones en las que tener un bosque con un HO mayor produzca menores beneficios anuales que si tuviera un HO algo menor. Voy a poner un ejemplo de esto. (uno de estos casos).

Suponer que tenemos unos gastos fijos de 5131. Entonces para un HO (en este caso 7) y G fijo (5,2) obtenemos unos ingresos positivos de 6724 y una edad de corta de 37 años, lo que supone un saldo positivo anual de 181. Ahora calculamos el saldo neto=1593, por lo que el saldo neto anual es 43 euros/año.

En cambio, si aumentamos el HO a 8m manteniendo el G=5,2, los resultados de la simulación indican el recorte de un año la edad de corta, por lo que se obtiene una edad de 36 años, con un saldo positivo de 6530. Esto supone un saldo positivo anual de 181 euros/año, mismo dato que el anterior. Pero al calcular el saldo neto=1399, que supone un saldo neto anual de 38.

Es decir, en este caso, aumentando el HO, el saldo positivo anual se mantiene constante, pero el saldo neto anual es muy inferior. Se produce este mismo caso al aumentar G en algunos valores. Esto es por lo que en las posteriores gráficas hay valores en los que se entrecruzan los distintos HO y que incluso disminuyen para mayores valores de G.

4. Conclusiones

- A mayor tasa de descuento, menor es el beneficio obtenido.
- A mayores precios de venta de la madera, mayor es el beneficio obtenido.
De hecho, con los valores del tercer precio, apenas hay beneficios positivos, exclusivamente, con tasas de retorno 2 y densidad de 750.
- A mayores tasas de inflación, aumenta el beneficio obtenido
- En la mayoría de las ocasiones, un aumento de G aumenta el beneficio obtenido
- En la mayoría de las ocasiones, un aumento de HO aumenta el beneficio obtenido
- Un aumento de N disminuye el beneficio obtenido

Estas conclusiones se toman en cuenta dejando las demás variables fijas

5. REFERENCIAS

1. Diéguez-Aranda U., Rojo-Alboreca A., Castedo-Dorado F., Álvarez-González J.G., Barrio-Anta M., Crecente-Campo F., González-González J.M., Pérez-Cruzado C., Rodríguez-Soalleiro R., López-Sánchez C.A., Balboa-Murias M.A., Gorgoso-Varela J.J., Sánchez-Rodríguez F. (2009) Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. 268 pp + CD-Rom.

Índice de tablas:

Tabla 1: variables con las que se pueden jugar a la hora de establecer escenarios y/o simulaciones.....	8
Tabla 2: Datos de las mediciones de la parcela fertilizada.....	13
Tabla 3: desagregación por destinos en simulación de parcela fertilizada.....	13
Tabla 4: Descripción de modelos silvícolas aplicados.....	13
Tabla 5: Desagregación por destinos (volumen en corta final) extraído en la simulación de la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PP1.....	14
Tabla 6: Desagregación por destinos (volumen en corta final) extraído en la simulación de la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PP2.....	15
Tabla 7: Desagregación por destinos (volumen en corta final) extraído en la simulación de la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelo silvícola PP3.....	16
Tabla 8: resultados de la variación de la inflación en el posible retorno de la inversión.....	17
Tabla 9: resultados de la variación de la tasa de descuento en el posible retorno de la inversión.....	18
Tabla 10: Simulaciones con diferentes escenarios de precios y diferentes tasas de descuento (desde 1,5% a 5%).....	20
Tabla 11: Diferencia (Resta) entre las simulaciones de la parcela fertilizada y no fertilizada en los diferentes escenarios de precios y con diferentes tasas de descuento (desde 1,5 a 5%).....	21
Tabla 12: Diferencia en la edad de turno (máxima renta en especie) para los valores de H0 de la parcela fertilizada y no fertilizada y diferentes variaciones de G (desde 4,76 a 8,13).....	23

Índice de imágenes:

Imagen 1: pantalla inicial del simulador que se ha desarrollado para poder simular los diferentes escenarios.....	10
Imagen 2: ejemplo de resultado de una simulación.....	11

Imagen 3: gráfica comparativa entre la parcela fertilizada y no fertilizada aplicando el modelos silvícola PPI.....14

Imagen 4: relación de edad de turno con diferentes valores de G y H0 para una densidad de 750 pies por hectárea.....24

Imagen 5: relación de edad de turno con diferentes valores de G y H0 para una densidad de 1000 pies por hectárea.....25

Imagen 6: relación de edad de turno con diferentes valores de G y H0 para una densidad de 1250 pies por hectárea26