



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

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

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Mapas potenciales del castaño en Castilla y León y su evolución frente al cambio climático

GALLEGOS GARCÍA, R.¹, RUBIO GUTIEREZ, R.¹y BLANCO LAGO, E.¹.

¹ Área Forestal y Recursos Naturales. Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León.

Resumen

El castaño como especie multifuncional es uno de los sistemas forestales más importantes desde el punto de vista económico en las áreas del medio rural donde es característico. El creciente interés en la especie y su vulnerabilidad en un contexto de cambio climático en el que las condiciones climáticas pueden alterar las condiciones de estación óptimas, afectar de forma significativa a su estado de conservación y por tanto a la productividad. Por ello, es preciso evaluar la potencialidad de la distribución de la especie en la actualidad y la probabilidad de distribución en función de diferentes escenarios de cambio climático.

Así mismo, un análisis respecto a series climáticas pasadas ha permitido evaluar la importancia del análisis, comprender la regresión productiva del castaño, y la afección de enfermedades relacionadas con la regresión del castaño en el ámbito de Castilla y León.

Palabras clave

Castaño, castañicultura, cambio climático.

1. Introducción

Para la elaboración del mapa potencial de *Castanea sativa* en Castilla y León, se ha empleado el modelo de nicho ecológico mediante el programa MAXENT, que modela la probabilidad de distribución geográfica de las especies, utilizando como datos sólo los sitios de presencia de esa especie y las variables climáticas y topográficas asociadas a cada uno de esos puntos de presencia. Para modelar las distribuciones se basa en el principio de Máxima entropía (es decir, trata de encontrar la distribución de probabilidad más extendida, o más cercana a ser uniforme).

Los datos de presencia disponibles generalmente no cubren todo el rango de distribución natural de una especie. Los programas de modelación de la distribución de especies como Maxent (Philips et al., 2006) permiten aproximar el rango total de distribución y son herramientas prácticas para identificar las áreas en que es probable que ocurra una especie. Es importante tener en cuenta que cuando un área geográfica presenta condiciones ambientales favorables para una especie, esto no necesariamente quiere decir que la especie efectivamente se encuentre presente en esta área. Las limitaciones a la dispersión debidas al sistema reproductivo de la especie y a barreras geográficas pueden evitar que una especie ocupe todas las áreas geográficas que presenten ambientes similares al de su nicho realizado. También es cierto que una especie puede no estar presente en áreas donde podría ocurrir, si su hábitat natural ha sido alterado por interferencia humana.

Los principales efectos del cambio climático identificados en el castaño son:

- Otoños cada vez más cálidos y con menos lluvia, lo que no beneficia al castaño
- Adelanto de la primavera por el calentamiento global.
- Reducción de la reserva hídrica, aumento de la evapotranspiración.
- Incremento en la irregularidad de las precipitaciones con efectos torrenciales que hacen que aumenten los procesos erosivos en el suelo.
- Probabilidad de temperaturas extremas en épocas que afectan el desarrollo fenológico normal del castaño.

Esto se traduce en mayor vulnerabilidad frente a amenazas bióticas y abióticas como incendios forestales más virulentos, plagas y enfermedades, menor resistencia a sequías estivales y vulnerabilidad de los individuos jóvenes a los efectos de la sequía y temperaturas extremas.

2. Objetivos

El principal objetivo es conocer la distribución potencial de castaño (*Castanea sativa*) en Castilla y León, mediante la modelización espacial desde el periodo 1900-1980 hasta 2100, en función de diferentes escenarios de cambio climático. Estos modelos permiten evaluar cuantitativamente la probabilidad de que una población de castaño ocupe un determinado lugar y sirven de herramienta para establecer modelos de adaptación de los planes de gestión, conservación de sotos existentes y el impulso de nuevas zonas de plantación.

3. Metodología

3.1 Datos de partida *Castanea sativa*

Se ha empleado la capa del castaño en Castilla y León (teselas de *Castanea sativa* del Mapa Forestal de España (MFE50) en las que figuraba esta especie como especie principal o como especie secundaria, incluidas las masas donde su ocupación era pequeña (02 de 1 a 3)).

3.2 Preparación de capas climáticas y topográficas

- Climatología del centro de descargas del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL)
 - Temperatura media anual:
 - Descripción: Temperatura media anual calculada a partir de los valores medios mensuales de temperatura a 1.5 m de altura del suelo. El termómetro se encuentra protegido del sol y expuesto al aire, en el interior de una garita meteorológica. Se registran las temperaturas mínima y máxima diarias; se calcula la media, y se promedia para el mes y el año.
 - Origen de los datos: Series de temperaturas medias anuales de las estaciones de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, llenadas, depuradas y homogeneizadas.
 - Procesado realizado: Regresión lineal con variables geográficas, añadiendo la componente residual por interpolación ponderada con el inverso de la distancia. (Series de temperaturas medias anuales de las estaciones de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, llenadas, depuradas y homogeneizadas.)
 - Precipitación media primavera:
 - Descripción: Acumulación media -durante meses de marzo, abril y mayo- de la lluvia, nieve y granizo que caen desde las nubes y alcanzan el suelo. La precipitación se mide en milímetros (espesor de la lámina de agua que se forma sobre una superficie plana e impermeable de un metro cuadrado). Esta unidad es equivalente a litros por metro cuadrado.
 - Origen de los datos: Suma de las precipitaciones medias mensuales de marzo, abril y mayo de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, llenadas, depuradas y homogeneizadas.
 - Procesado realizado: Regresión lineal con variables geográficas, añadiendo la componente residual obtenida por krigado simple. (Suma de las precipitaciones medias mensuales de marzo, abril y mayo de las estaciones pluviométricas de

- AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.)
- Precipitación media verano:
 - Descripción: Acumulación media -durante meses de junio, julio y agosto- de la lluvia, nieve y granizo que caen desde las nubes y alcanzan el suelo. La precipitación se mide en milímetros (espesor de la lámina de agua que se forma sobre una superficie plana e impermeable de un metro cuadrado). Esta unidad es equivalente a litros por metro cuadrado.
 - Origen de los datos: Suma de las precipitaciones medias mensuales de junio, julio y agosto de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981 - 2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.
 - Procesado realizado: Regresión lineal con variables geográficas, añadiendo la componente residual obtenida por krigeados simple. (Suma de las precipitaciones medias mensuales de junio, julio y agosto de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981 - 2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.)
 - Precipitación media otoño:
 - Descripción Acumulación media -durante meses de septiembre, octubre y noviembre- de la lluvia, nieve y granizo que caen desde las nubes y alcanzan el suelo. La precipitación se mide en milímetros (espesor de la lámina de agua que se forma sobre una superficie plana e impermeable de un metro cuadrado). Esta unidad es equivalente a litros por metro cuadrado.
 - Origen de los datos: Suma de las precipitaciones medias mensuales de septiembre, octubre y noviembre de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.
 - Procesado realizado: Regresión lineal con variables geográficas, añadiendo la componente residual obtenida por krigeados simple. (Suma de las precipitaciones medias mensuales de septiembre, octubre y noviembre de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.)
 - Precipitación media invierno:
 - Descripción: Acumulación media -durante meses de diciembre, enero y febrero- de la lluvia, nieve y granizo que caen desde las nubes y alcanzan el suelo. La precipitación se mide en milímetros (espesor de la lámina de agua que se forma sobre una superficie plana e impermeable de un metro cuadrado). Esta unidad es equivalente a litros por metro cuadrado.
 - Origen de los datos: Suma de las precipitaciones medias mensuales de diciembre, enero y febrero de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.
 - Procesado realizado: Regresión lineal con variables geográficas, añadiendo la componente residual obtenida por krigeados simple. (Suma de las precipitaciones medias mensuales de diciembre, enero y febrero de las estaciones pluviométricas de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.)
 - Radiación solar media anual:
 - Descripción: Flujo descendente de radiación de onda corta, de longitudes de onda comprendidas entre 0.4 y 4 micrómetros, procedente de toda la bóveda celeste.
 - Origen de los datos: Mapas de radiación generados a partir de imágenes (del periodo 1983 hasta el 2005) del satélite METEOSAT en el marco del programa Servicio de Aplicaciones de Satélites para la Vigilancia del Clima (CM - SAF). Los

- datos fuente están en coordenadas geográficas con una resolución espacial de 0,03 °/pixel.
- Procesado realizado: Promediado de los datos fuente, remuestreo (bilineal) para reducir la escala y proyección a UTM, huso 30 Norte. El pixel final tiene una dimensión de 1000 m. (Mapas de radiación generados a partir de imágenes (del periodo 1983 hasta el 2005) del satélite METEOSAT en el marco del programa Servicio de Aplicaciones de Satélites para la Vigilancia del Clima (CM - SAF). Los datos fuente están en coordenadas geográficas con una resolución espacial de 0,03 °/pixel.)
 - Evapotranspiración potencial media anual:
 - Descripción: Charles Thornthwaite definió en 1948 la evapotranspiración potencial (ETP) como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y sin limitaciones en la disponibilidad de agua.
 - Origen de los datos: Horas de sol teóricas. Series de temperaturas medias mensuales (obtenidas de los valores de temperaturas máximas y mínimas diarias) de las estaciones de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.
 - Procesado realizado: Regresión lineal de las temperaturas con variables topográficas, añadiendo la componente residual interpolada por el inverso de la distancia. (Horas de sol teóricas. Series de temperaturas medias mensuales (obtenidas de los valores de temperaturas máximas y mínimas diarias) de las estaciones de AEMET. Observaciones del treintenio 1981-2010, rellenadas, depuradas y homogeneizadas.)
 - Edafología y ocupación del suelo del centro de descargas del ITACyL
 - Clases de suelo:
 - Descripción: Clasificación de los suelos de Castilla y León según la Base de Referencia Mundial para Recursos de Suelos (WRB). El color aplicado a cada tesela del mapa se ha establecido para el gran Grupo de Suelo de Referencia (GSR) y su calificador correspondiente (segundo nivel en la estructura de la WRB), más abundante en la asociación de suelos descrita en la unidad cartográfica (SMU).
 - Origen de Datos: Mapa de suelos a escala 1/500.000 del IRNASA-CSIC, del año 1988, reeditado por el ITACyL en el año 2011. La información completa de las SMU se puede consultar en http://suelos.itacyl.es/visor_datos. (Mapa de suelos a escala 1/500.000 del IRNASA-CSIC, del año 1988, reeditado por el ITACyL en el año 2011.)
 - Texturas (Base de datos de los suelos de Castilla y León que almacena los parámetros analíticos de las muestras de suelo superficiales (entre 10 y 30 cm de profundidad) tomadas por diversas organizaciones como AIMCRA, ASAJA-SORIA y el propio ITACyL. También se incorporan las muestras recogidas para el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES)):
 - Arena:
 - Descripción: Contenido de arena expresado como porcentaje del peso total de la tierra fina. Según el criterio USDA (United States Department of Agriculture), se consideran como arena aquellas partículas con un diámetro comprendido entre 0,05 y 2 mm.
 - Datos fuente: Base de datos de los suelos de Castilla y León que almacena los parámetros analíticos de las muestras de suelo superficiales (entre 10 y 30 cm de profundidad) tomadas por diversas organizaciones como AIMCRA, ASAJA-SORIA y el propio ITACyL. También se incorporan las muestras recogidas para el Inventario Nacional de Erosión de Suelos

(INES). Se puede encontrar más información sobre esta Base de Datos en la página web <http://suelos.itacyl.es>.

- Procesado espacial: Regresión lineal múltiple de 9.949 muestras superficiales con variables auxiliares tales como las derivadas del Modelo Digital de Elevaciones, geología, climatología y ocupación del suelo, añadiendo, posteriormente, la componente residual interpolada espacialmente mediante Kriging simple.
- Limo:
 - Descripción: Contenido de limo expresado como porcentaje del peso total de la tierra fina de la muestra. Según el criterio USDA (United States Department of Agriculture), se consideran como limo aquellas partículas con un diámetro comprendido entre 0,002 y 0,05 mm.
 - Datos fuente: Base de datos de los suelos de Castilla y León que almacena los parámetros analíticos de las muestras de suelo superficiales (entre 10 y 30 cm de profundidad) tomadas por diversas organizaciones como AIMCRA, ASAJA-SORIA y el propio ITACyL. Se puede encontrar más información sobre esta Base de Datos en la página web <http://suelos.itacyl.es>.
 - Procesado espacial: Interpolación de 6.924 muestras de suelo realizada mediante el método geoestadístico Universal Kriging. En el modelo entran variables explicativas climáticas (régimen de temperatura, pluviometría, periodo libre de heladas y suma de grados día), derivadas del Modelo Digital de Elevaciones e intensidad de la actividad agraria.
- Arcilla:
 - Descripción: Contenido de arcilla expresado como porcentaje del peso total de la tierra fina de la muestra. Según el criterio USDA (United States Department of Agriculture), se consideran como arcilla aquellas partículas con undíámetro menor de 0,002 mm.
 - Datos fuente: Base de datos de los suelos de Castilla y León que almacena los parámetros analíticos de las muestras de suelo superficiales (entre 10 y 30 cm de profundidad) tomadas por diversas organizaciones como AIMCRA, ASAJA-SORIA y el propio ITACyL. Se puede encontrar más información sobre esta Base de Datos en la página web <http://suelos.itacyl.es>.
 - Procesado espacial: Interpolación de 6.924 muestras de suelo realizada mediante el método geoestadístico Universal Kriging. En el modelo entran variables explicativas climáticas (régimen de temperatura, pluviometría, periodo libre de heladas y suma de grados día), derivadas del Modelo Digital de Elevaciones e intensidad de la actividad agraria. Fruto del proceso de cálculo de la interpolación, en algunos casos se generan valores imposibles para la variable considerada. Estas zonas se agrupan en la clase "No interpolado".
 - Cobertura del suelo según siose2005 (SIOSE de Castilla y León a escala 1/25.000, elaborado con imágenes de referencia del año 2005.)
- Altitud: relieve del SIGMENA de la Junta de Castilla y León (Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Junta de Castilla y León, procedente del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

3.3. Elaboración de datos climáticos a futuro

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), Castilla y León se podría encontrar en dos escenarios a futuro:

- **ESCENARIO 1 (A2):** podría considerarse la descripción del mundo tal y como evolucionará de mantener nuestro actual comportamiento. Se caracterizaría por un crecimiento lento y cada vez más desigual entre las distintas regiones del planeta, por ello, la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales serían rasgos característicos de este futuro.
- **ESCENARIO 2 (B2):** En el escenario B2 nos encontramos con un mundo más sostenible, tanto a nivel ambiental como económico y social. La conciencia de protección medio ambiental e igualdad social está más arraigada que en otros escenarios aunque las soluciones a estos aspectos se plantean desde un punto de vista regional. Es un mundo que crece a menor ritmo, pero de forma más sostenible.

España se encamina hacia un futuro en el que las temperaturas máximas aumentarán de media entre 2 y 6,4 grados a finales de siglo debido al cambio climático.

Figura 1. Evolución cambio temperatura IPCC.

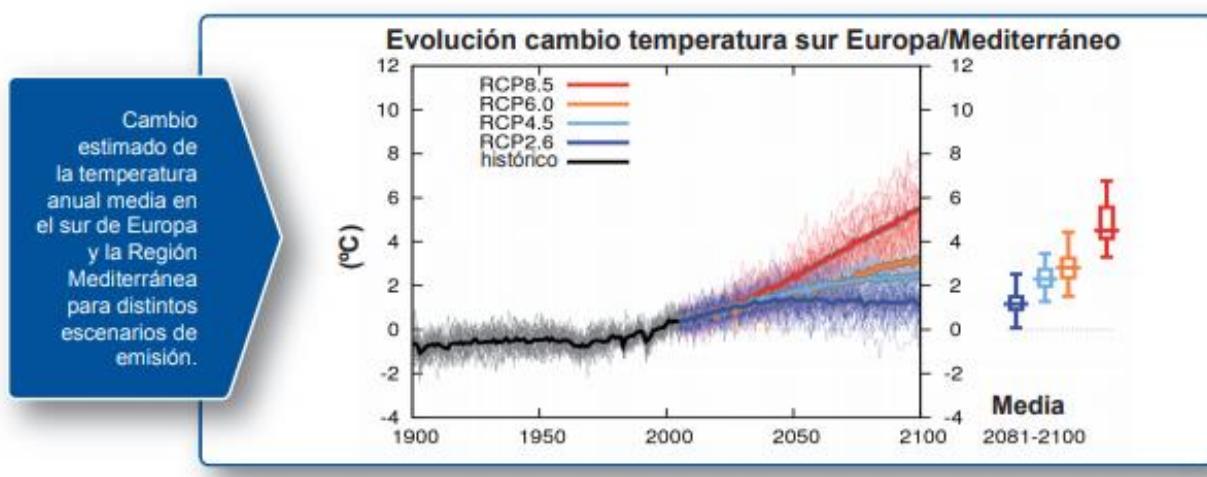
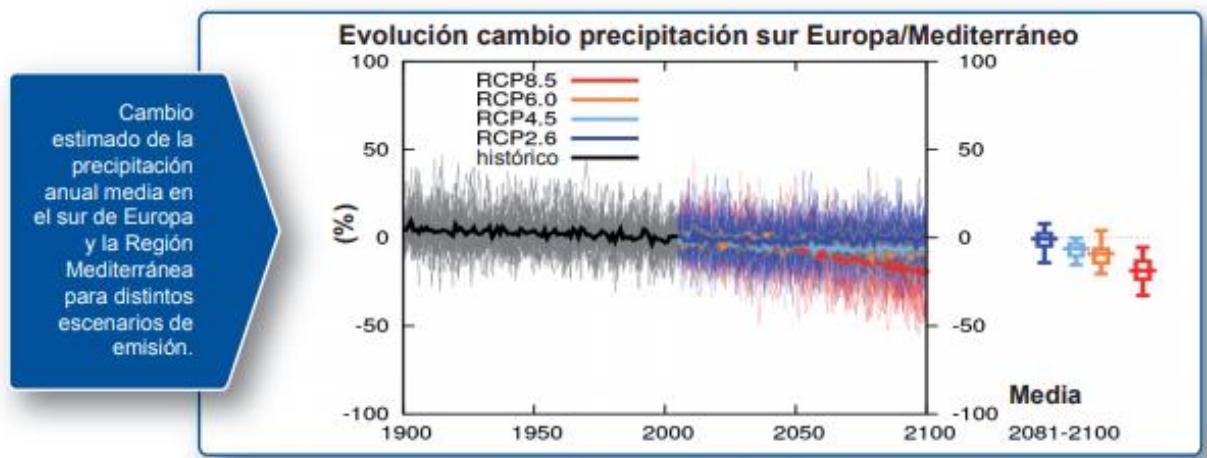


Figura 2. Evolución cambio precipitación IPCC



Con estas previsiones de futuro y con los datos a pasado se crean para las mismas capas anteriores los datos para los períodos de años de 1900-1980, 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070 y 2070-2100.

3.4. Modelización mediante MAXENT

Se hace la introducción de datos para los cinco periodos de años y la capa de presencia de castaño para cada escenario presente en Castilla y León.

- Cálculo de la tasa de omisión: estadística que indica el rendimiento del modelo. La matriz Omission and Predicted Area consta de tres líneas:
 - Omission on training samples (línea azul) muestra las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial con base en el modelo de Maxent (Fraction value) por los valores del umbral de probabilidad (de bajo a alto) que limita el área predicha (Cumulative threshold). Training samples (muestras de entrenamiento) se usa como sinónimo de “puntos de presencia”.
 - Fraction of background predicted (línea roja) muestra las fracciones de los puntos de fondo (aleatorios) del área de estudio incluidos en el área predicha, usando diferentes umbrales acumulativos (Cumulative thresholds).
 - Predicted omission (línea negra) es una línea de referencia. Si la línea azul (Omission on training samples) aparece bien abajo de la línea de referencia (Predicted omission), es posible que el modelo se haya sobreajustado (overfitting) por dependencia entre los puntos (Phillips 2009).
- Sensibilidad del modelo: Uno de los parámetros utilizados para evaluar la capacidad de predecir de los modelos generados por Maxent es el Área por Debajo de la Curva (AUC, de su nombre en inglés) de la curva Característica Operativa Relativa (ROC, de su nombre en inglés). La fracción del área predicha (Fractional predicted area) en el eje-x se refiere a la fracción del área total de estudio donde se está modelando la especie, mientras que la sensibilidad (Sensitivity) en el eje-y se refiere a la proporción de puntos de presencia dentro del área de ocurrencia predicha en relación con el número total de puntos de presencia (Phillips 2009). El AUC es equivalente a la probabilidad de que un punto de presencia seleccionado al azar esté ubicado en una celda del ráster con un valor de probabilidad mayor para la ocurrencia de la especie que un punto de ausencia seleccionado al azar. La modelación de la distribución de especies en este manual incluye solamente puntos de presencia. Aun así, para poder calcular el AUC, Maxent reemplaza los puntos de ausencia con puntos del área de estudio generados aleatoriamente. El AUC se puede entonces interpretar como la mayor probabilidad de que un punto de presencia seleccionado aleatoriamente esté ubicado en una celda del raster con un alto valor de probabilidad para la presencia de la especie que un punto generado aleatoriamente (Phillips et al. 2006). La mayor capacidad de predecir de un modelo generado por Maxent se alcanza cuando el AUC tiene un valor de 1. Este sería el caso si todos los puntos de presencia tienen una mayor probabilidad que los puntos generados aleatoriamente. Se recomienda la siguiente interpretación del AUC para los modelos generados por MAXENT:
 - Excelente si el $AUC > 0,90$
 - Buena si $0,80 > AUC < 0,90$
 - Aceptable si $0,70 > AUC < 0,80$
 - Mala si $0,60 > AUC < 0,70$
 - No válida si $0,50 > AUC < 0,60$.

4. Resultados

Los resultados del modelo presentan en todos los casos una tasa de omisión buena y una sensibilidad al modelo entre 89,1-99,1 por lo que se pueden considerar muy válidos.

Las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de Maxent para todos los modelos evaluados nos da como las tres más representativas la precipitación en otoño (33,5%), la precipitación en invierno (27,9%) y la temperatura media anual (16,2%).

Tabla 1. Tasa de omisión y sensibilidad del modelo.

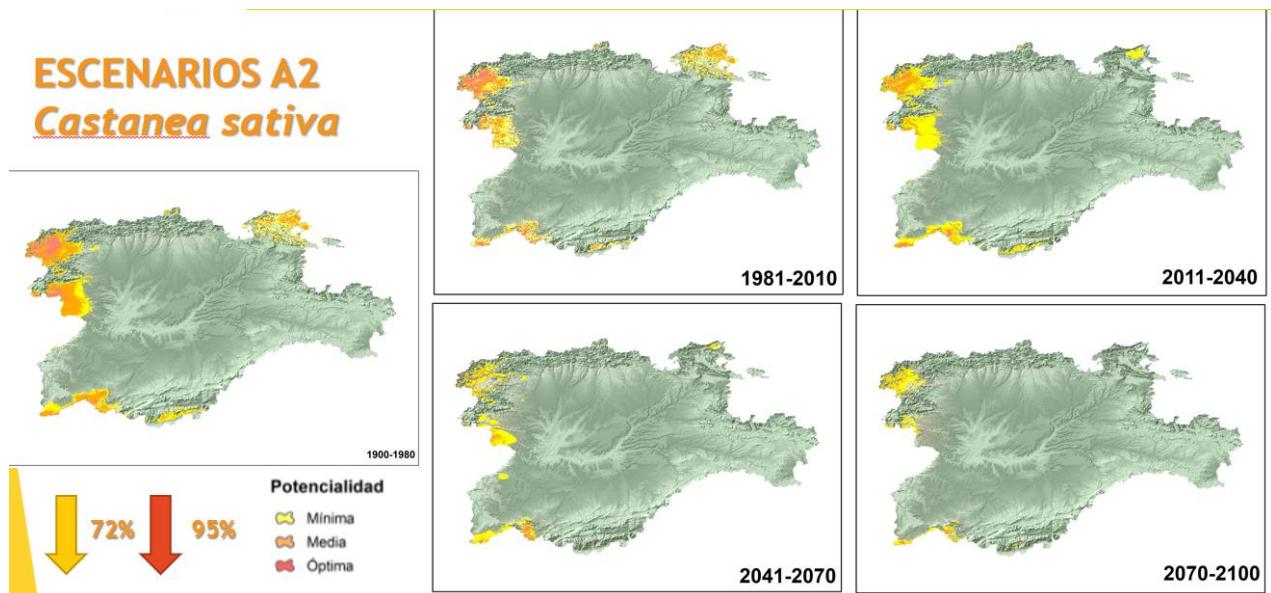
Período de años	A1		B2	
	Tasa de omisión	Sensibilidad del modelo (%)	Tasa de omisión	Sensibilidad del modelo (%)
1900-1980	Buena	89,1	Buena	89,1
1981-2010	Buena	90	Buena	90
2011-2040	Buena	89,4	Buena	89,1
2041-2070	Buena	87,3	Buena	89,1
2071-2100	Buena	89,4	Buena	99,1

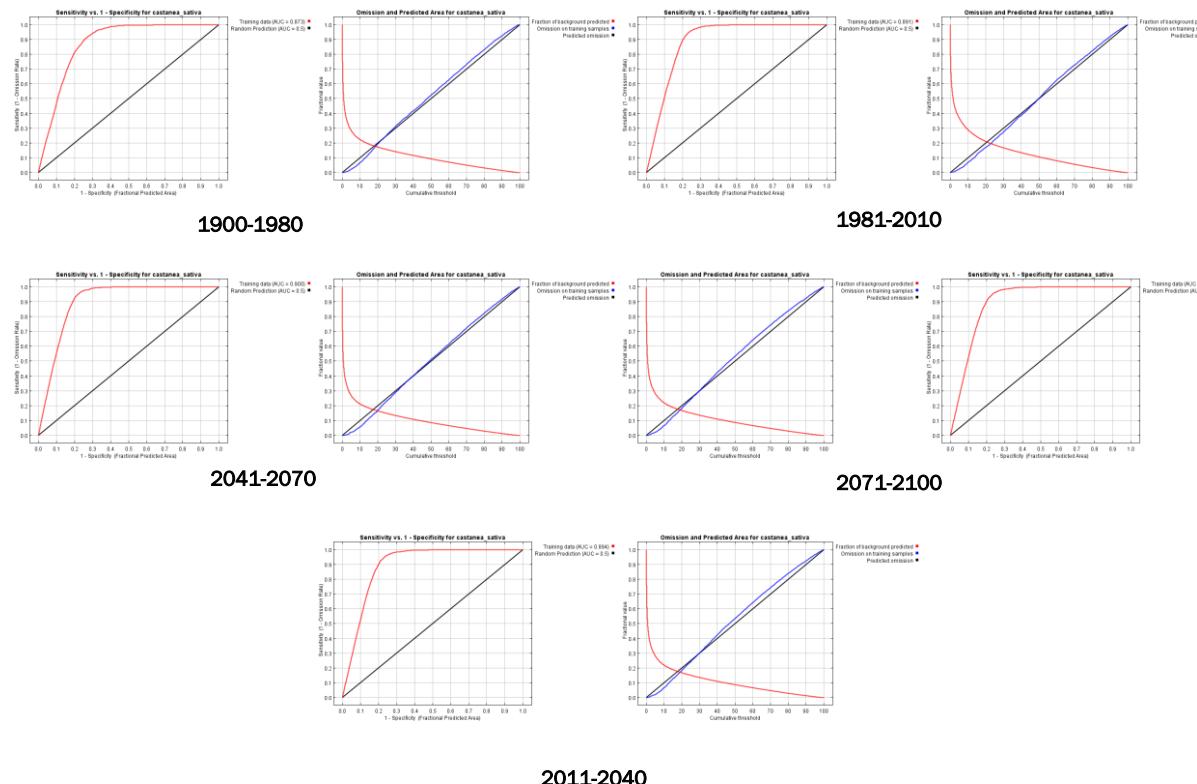
Como punto de partida, en la actualidad, contamos con una superficie de cerca de 68.000 Ha, prácticamente todas ellas de castaño injertado localizado en zonas abruptas y altas. Casi el 50% de la superficie total se encuentra localizada en la comarca de El Bierzo, encontrándose el resto de superficie en Gredos (Ávila), Béjar y Sierra de Francia (Salamanca), Aliste y Sanabria (Zamora).

ESCENARIO 1 (A2):

Para el escenario 1 (A2) se produce una disminución la superficie potencial del 95% en el caso óptimo y el 72% en el caso de potencialidad media.

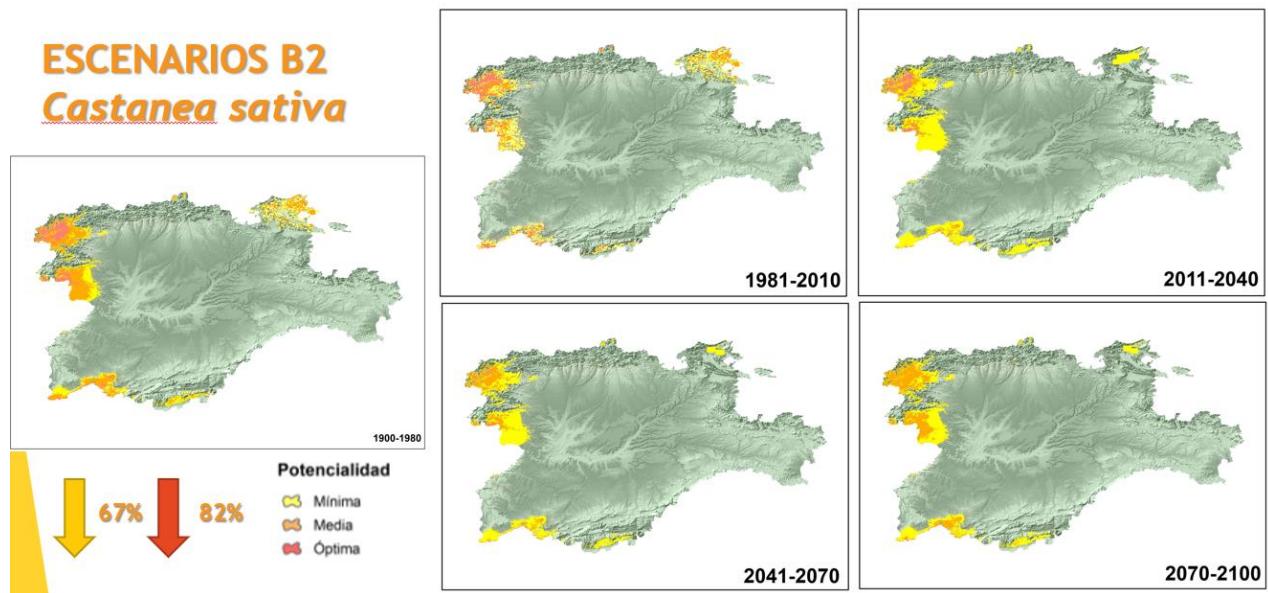
Figura 3. Escenario A2.





ESCENARIO 2 (B2): Para el escenario 2 (B2) se produce una disminución la superficie potencial del 82% en el caso óptimo y el 62% en el caso de potencialidad media.

Figura 3. Escenario B2.



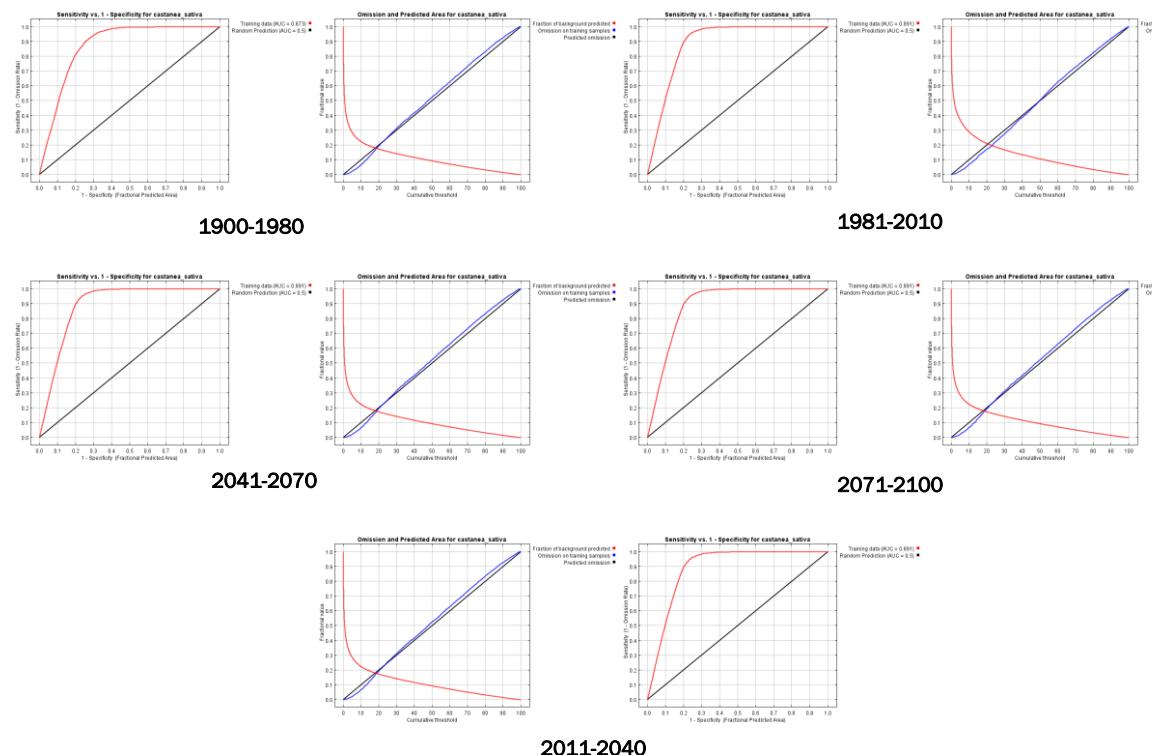
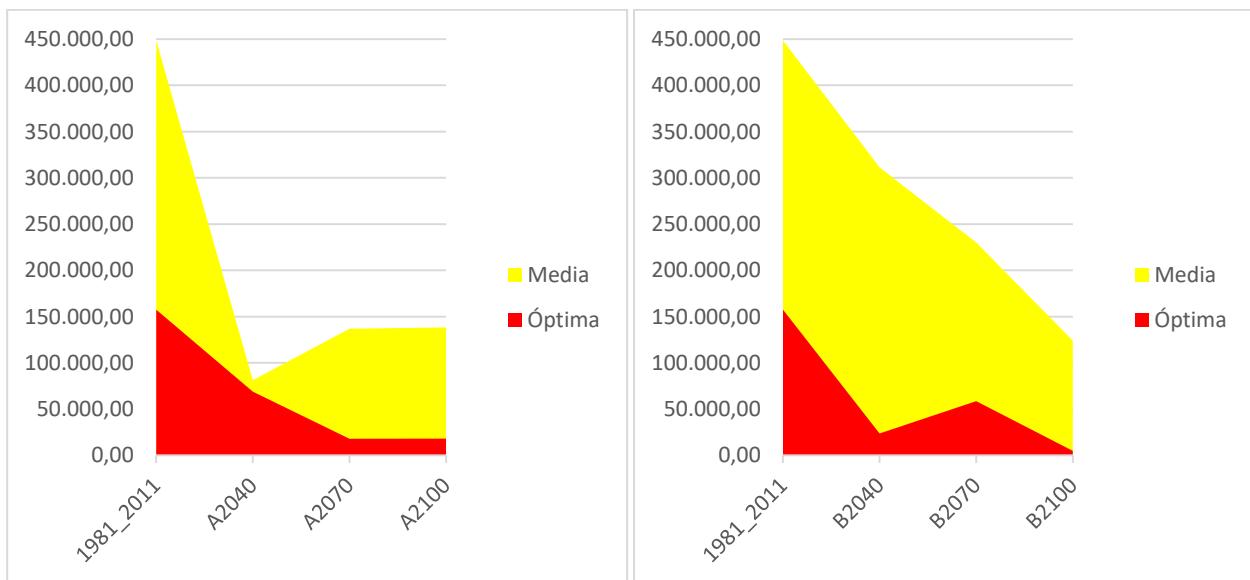


Figura 3. Superficie Castanea sativa.



Como se puede observar en el gráfico anterior en el escenario menos favorable la superficie media y óptima sufre un descenso muy acusado hasta 2040 subiendo ligeramente hasta 2070 y manteniéndose hasta 2100, en caso de la superficie óptima, tiene una fuerte bajada hasta 2070 y luego estabilizándose hasta 2100.

En el caso de escenario B2, al que se debe tender, la bajada también es acusada pero se va manteniendo la estabilidad y la superficie media es más estable.

5. Discusión

Los modelos no identifican en la evolución potencial de la distribución las afecciones de origen biótico y su incidencia en la producción de las masas actuales. Por ello, se propone incluir variables relacionadas con la distribución de plagas y enfermedades y su evolución, en la potencialidad de distribución y de producción de castaña.

6. Conclusiones

La evolución constante de las variables climáticas ambientales que afectan la distribución del castaño en Castilla y León, han propiciado la regresión de la probabilidad de distribución óptima de la especie para las series climáticas pasadas 1900-1980 y 1981 -2010, cercana al 40%.

La modelización de la evolución de la distribución potencial en función de los diferentes escenarios de cambio climático proporciona proyecciones diferentes en los que el escenario previsto B2 permite recuperar en gran medida la superficie potencial óptima. Sin embargo, el escenario A2 acentúa la regresión de la superficie potencial respecto a las series actual y pasadas.

7. Agradecimientos

A Fernando Castedo Dorado por animar la realización del análisis comparativo incluyendo las series climáticas previas a 1980, a los miembros de la Mesa del Castaño del Bierzo por impulsar la ejecución del mismo y la Dirección General del patrimonio natural y política forestal de la Junta de Castilla y León por el uso de los resultados con objeto de incluir al castaño como especie elegible en los programas de implantación de especies de alto valor en Castilla y León.

8. Bibliografía

Altas Agroclimático de Castilla y León. <http://atlas.itacyl.es/descarga>

Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Software Maxent para modelar nichos y distribuciones de especies (Versión 3.4.1). Disponible en url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.