

Producto: Modelos de producción de resina.

Actividad: Definición de la metodología de ajuste del modelo de producción de resina para *Pinus pinaster*.

Entregables:

- Guía metodológica para realización de ensayo de campo para el ajuste del modelo de producción de resina.

Actividad: Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas.

Entregables:

- Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras españolas.

Actividad: Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras francesas.

Entregables:

- Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras francesas.

Actividad: Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras portuguesas.

Entregables:

- Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras portuguesas.

Actividad: Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales.

Entregables:

- Guía para la aplicación del modelo de producción de resina en el espacio SUDOE.
- Modelo de producción de resina para el espacio SUDOE.



www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo

Proyecto Sust Forest Plus

“Estrategia y redes de colaboración para la multifuncionalidad, la conservación y el empleo en el territorio del sur de Europa a través de la extracción de la resina”



Modelos de producción de resina

(Producto 1.3)

Guía metodológica para realización de ensayos de campo para el ajuste del modelo de producción de resina



(Entregable 1.12.1)

Autor/Responsable: INIA

Fecha entrega: 30/06/2018

**Interreg
Sudoe**

European Regional Development Fund



SOE2/P5/E0598
www.sust-forest.eu

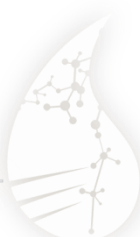
SÓCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Índice

- 1. Introducción**
- 2. Bases metodológicas del modelo para la predicción de la producción de resina**
 - 1. Modelo geoestadístico de la producción de resina**
 - 2. Modelo de procesos de base espacial para la producción de resina**
 - 3. Algoritmo de clasificación de la producción de resina**
- 3. Información necesaria para implementar el modelo**
 - 1. Datos de parcelas de experimentación promovidas en este proyecto.**
 - 2. Datos de aprovechamientos (proporcionados por los gestores de los montes o empresas)**
 - 3. Datos de parcelas de experimentación antiguas**
 - 4. Datos espaciales sobre las condiciones ambientales de las zonas de estudio.**
- 4. Referencias**



1. Introducción

Este entregable se encuadra dentro del Producto 1.3, que incluye tres actividades y 3 entregables, de acuerdo a un plan de trabajo detallado en la descripción de la actividad 1.12. Como primer paso se contempla la realización del entregable 1.12.1.

Producto 1.3 Modelos de producción de resina -INIA-(4/18 a 3/20-30/03/20)

Actividad 1.12-Definición de la metodología de ajuste del modelo de producción de resina para Pinus pinaster-INIA- (4/18 a 6/18)

Entregable 1.12.1- -INIA (30/06/18)

Actividad 1.13-Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas-INIA (4/18 a 3/20)

Entregable 1.13.1-Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras españolas-INIA (29/11/19)

Actividad 1.16-Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales -INIA- (4/18 a 4/20)

Entregable 1.16.1-Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales para el espacio SUDOE-INIA (30/04/20)

Entregable 1.16.2-Guía para la aplicación del modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales – INIA (30/04/20)

Describa el producto principal y su contribución a los objetivos específicos del proyecto.

Modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales

Se trata de una herramienta para la gestión técnica de la Estrategia para el Aprovechamiento Sostenible de las Resinas Naturales Europeas esencial para la toma de decisiones.

El resultado tiene gran importancia desde el punto de vista de la estandarización y homologación de la evaluación de la producción forestal potencial en los tres países participantes en el proyecto. La metodología propuesta permitirá la extensión de esta homologación a toda la cuenca mediterránea.

El trabajo capitaliza y toma como punto de partida los modelos georeferenciados existentes, mejorados durante el desarrollo de este proyecto. El ajuste de los modelos se realiza, mediante ensayos con una metodología común (actividad 1.12), que serán realizados por los diferentes socios del proyecto en los tres países (Actividades 1.13, 1.14 y 1.15), cuyos resultados se integrarán posteriormente por INIA como un sistema único para el espacio SUDOE (Actividad 1.1).

Los resultados se pondrán a disposición de los gestores de la Red Europea de Territorios Resineros, y de la comunidad forestal en general, mediante una guía de aplicación del modelo.

Estos modelos se capitalizan dentro del proyecto mediante la integración en un sistema para la generación de mapas de producción esperada (Producto 1.6) que servirá para la valoración estratégica de la rentabilidad de explotación bajo la silvicultura actual como herramienta para seleccionar zonas para resinación, y para descartar aquellas con baja producción que no aseguran la rentabilidad de las operaciones.

Lo que contribuirá a una mejor planificación temporal de la oferta de resina en el conjunto del territorio.

Este producto contribuye al objetivo específico de proyecto "Convertir las masas del sudodeste europeo en una fuente abundante y sostenible de resina a medio y largo plazo al permitir una mejor planificación espacio-temporal de la oferta de resina.

Actividad 1.12. Definición de la metodología de ajuste un modelo de producción de resina para Pinus pinaster para el espacio SUDOE

Fecha de inicio: 3.2018; Fecha de fin 5.2018



Se trata una actividad preparatoria para la realización del producto 1.3, Modelos de producción de resina, en la que se establecen y difunden entre los socios responsables las bases científicas para la realización de ensayos de campo homogéneos en los tres países participantes en SustForest Plus. Los mencionados ensayos se utilizarán para el ajuste de modelos matemáticos que permitan estimar la producción de resina en diferentes regiones resineras del SUDOE. (actividad 1.16)

Tareas:

1. Diseño del modelo de muestreo.
2. Ayuda a la implantación del modelo de muestreo a los socios francés y portugués, responsables de los ensayos (actividades 1.14 y 1.15)

Lidera INIA.

Colabora Socios 4, 6 y 8

Actividad 1.13. Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas

Fecha de inicio 3.2018 Fecha de fin 3.2020

Ensayos de campo de producción de resina en España y/o adaptación de datos de producción existentes para la puesta a punto y generalización del modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico existente para una parte de la meseta Castellana (Nikos et al. 2002), que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales.

Para la realización de estos trabajos se estará a las orientaciones técnicas que se determinen en la actividad 1.12.

Tareas:

1. Análisis y validación de datos existentes.
2. Realización de ensayos necesarios para completar datos existentes durante dos campañas mediante aplicación de métodos de estimación indirecta. Microresinación. La evaluación se realizará durante dos campañas de resinación (2018 y 2019), en parcelas experimentales de la Red de Parcelas Permanentes que se crea en el proyecto como Producto 1.4. Esta evaluación responde a un diseño dirigido, coordinado y armonizado en los tres países participantes.

Actividad 1.16. Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales para el espacio SUDOE

Fecha de inicio 4.2018 Fecha de fin 4.2020

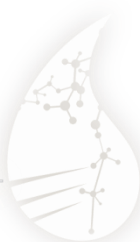
Se pone a punto un modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico existente para una parte de la meseta Castellana (Nikos et al. 2002), que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales. Para ello se procede a la generalización y validación de dicho modelo a partir de datos de producción real existentes en el ámbito SUDOE. En las zonas en las que no se dispone de datos de producción real se realizará una estimación mediante ensayos de campo por métodos indirectos en la nueva red de parcelas permanentes para la experimentación resinera creada con el presente proyecto. (Actividades 1.12, 1.13, 1.14 y 1.15)

Tareas:

1. Recepción de datos de producción para validar el modelo aportados por los socios.
2. Propuesta de modelo mediante ampliación de modelo existente teniendo en cuenta las variables ambientales de los sitios de estudio.
3. Validación local del modelo mediante parcelas de campo.
4. Redacción de guía de aplicación del modelo dirigida a técnicos y gestores

Ejecuta: INIA

Colaboran: CNPF e INIAV.



2. Bases metodológicas del modelo para la predicción de la producción de resina

El objetivo de estas actividades relacionadas es poder predecir la producción de resina de tal forma que puedan tomarse de forma eficiente una serie de decisiones como son:

- Enfocar la silvicultura de la zona, según su productividad resinera.
- Decidir sobre la conveniencia de iniciar los trabajos de resinación en una zona concreta, dependiendo de su posible rentabilidad.

Se realizan tres aproximaciones distintas que son complementarias y continúan los trabajos realizados para la modelización espacial de la producción de resina (Nanos et al. 2001), los mapas de producción de resina en la meseta Castellana, y los estudios sobre factores ambientales que determinan la producción de resina (Rodríguez-García, 2016, Lombardero et al. 2000). Los datos dasométricos por si solos presentan un escaso valor de predicción de la producción de resina. Por ello se propone obtener una "calidad de estación" de la resina general a partir de estimaciones de producciones disponibles (como en el modelo geoestadístico) y a partir de estos valores realizar estimaciones más precisas según variables que pueden obtenerse espacialmente basada en modelos de procesos y generales existentes (ver variables a considerar posteriormente).

Los tres enfoques que se plantean a partir de los datos existentes y los que se extraigan durante este proyecto son los siguientes:

- a) Modelo geoestadístico de la producción de resina
- b) Modelo de procesos de base espacial para la producción de resina
- c) Algoritmo para clasificación de rodales en clases de producción de resina

Para ello en todos los casos se ha de recopilar información sobre producción de resina y variables relacionadas como son los siguientes:

- Datos de parcelas de experimentación promovidas en este proyecto.
- Datos de aprovechamientos (proporcionados por los gestores de los montes o empresas)
- Datos de parcelas de experimentación antiguas
- Datos sobre las condiciones ambientales de las zonas de estudio.

2.1. Modelo geoestadístico de la producción de resina

Para el desarrollo de este modelo partimos de los datos de localización y producción media de cada una de las parcelas con datos de producción de resina, considerando el conjunto de años. Se parte del modelo desarrollado por Nanos et al. (2001).

La anisotropía se detecta mediante mapas de variograma, que se construye a partir de variogramas direccionales calculados con tolerancia angular de 40 ° y ancho de banda de 4000 m. Luego se aplica un algoritmo de grillado a los valores de variograma resultantes y las direcciones de continuidad máxima y mínima se juzgaron visualmente. La anisotropía se corrige rotando en sentido horario el sistema de coordenadas para identificar los ejes principales de anisotropía y transformando



linealmente las coordenadas giradas de acuerdo con el modelo de variograma anisotrópico. Kriging finalmente se realizó en el sistema de coordenadas transformadas utilizando un vecindario de búsqueda global

2.2. Modelo de procesos de base espacial para la producción de resina

Se pretende calibrar el modelo 3PG (Physiological Processes Predicting Growth) para la especie *Pinus pinaster* con la incorporación de un módulo de estimación de producción de resina y (2) evaluar los factores y las condiciones edafoclimáticas que mayor efecto tienen en la variabilidad de la producción en el área de estudio mediante la versión espacial del modelo.

Los requerimientos para la calibración y evaluación del modelo son los siguientes:

1) Modelo 3PG base parametrizado para masas de *Pinus pinaster* en la Meseta Castellana en el marco del proyecto INFORMED (2018).

2) Datos de la red de parcelas de *Pinus pinaster* en pinares resinados del área de estudio:

- Variables dasométricas masa (t, N, G, Ho, dg, W, V) Donde t es la edad del rodal (años), N es la densidad (pies/ha), G es el área basimétrica de la masa (m^2/ha), Ho es la altura dominante del rodal (m), dg es el diámetro medio cuadrático (cm), W la biomasa y V el volumen del fuste (m^3/ha).
- Variables de producción de resina
- Variables edáficas (textura, profundidad efectiva, fertilidad, humedad edáfica)
- Variables climáticas (temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación)

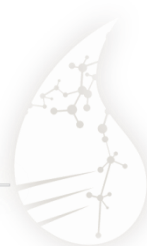
3) Mapas o datos espaciales que cubran el área de estudio (rodales de pinares resinados):

- Variables dasométricas de los rodales (fundamentalmente año de plantación y N)
- Variables edáficas (textura, fertilidad)
- Variables climáticas mensuales (temperatura máxima y mínima, precipitación y radiación)
- Otras variables que puedan mostrar en la fase de calibración un fuerte efecto en la producción de resina en los pinares.

2.3. Algoritmo para clasificación de rodales en clases de producción de resina

Se determina cuál es el método de aprendizaje automático más adecuado para la clasificación de rodales de *Pinus pinaster* en la Meseta castellana en calidades de producción de resina, a partir de datos ambientales y de características de las masas.

Partimos de parcelas en las que se conoce la producción de resina (Base de datos de SUDofrest+), y de variables de la zona relacionadas con esta producción. Por ejemplo, clima, suelo, edad, estructura de



masa. Establecemos cuatro clases de producción en las que queremos clasificar una zona para decidir sobre la gestión de esta zona:

- clase 1: menos de 1 kg/resina por árbol.
- clase 2: 1.0-2.0 kg de resina por árbol.
- clase 3: 2.0 a 3.0 kg de resina por árbol
- clase 4: más de 3.0 kg de resina por árbol

Para poder clasificar las observaciones en cada una de las cuatro clases de índice de sitio descritas se han utilizado tres métodos de clasificación: Bayes ingenuo, análisis discriminante lineal y regresión logística multinomial.

Bayes ingenuo

El método de clasificador Bayes ingenuo se puede obtener una revisión sobre este método) se basa en el teorema de Bayes y la independencia de las variables explicativas en nuestro caso fundamentada porque no se han introducido de forma conjunta variables que presentasen una alta correlación. La probabilidad de que una observación pertenezca a una clase determinada k (en nuestro caso a una calidad de estación) es igual a:

$$p(C_k | x_1, \dots, x_n) = p(C_k, x_1, \dots, x_n) / \sum p(C_k, x_1, \dots, x_n) = p(C_k, x_1, \dots, x_n) / p(x_1, \dots, x_n)$$

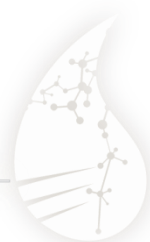
Donde C_k son las clases definidas (en nuestro caso 4 calidades de producción de resina), x_i son las variables independientes y p son las probabilidades de ocurrencia. $p(C_k, x_1, \dots, x_n)$ es la probabilidad de ocurrencia, a priori, de cada clase (en nuestro caso la proporción de cada calidad de estación obtenida a partir del muestro), $p(x_1, \dots, x_n)$ es constante para cada conjunto de datos y la probabilidad condicional de las k clases definidas, si consideramos independencia entre las variables, se calculará como:

$$p(C_k | x_1, \dots, x_n) = p(C_k) \prod p(x_i | C_k) / p(x_1, \dots, x_n)$$

La regla de clasificación en este caso es asignar cada observación a la clase con probabilidad condicional de asignación más alta, es decir a la más probable.

Análisis Discriminante Lineal

El método de análisis discriminante lineal se basa en que la distribución de las variables es normal, con igual matriz de covarianzas entre grupos y independientes entre ellas. Se buscan direcciones que maximicen el cociente de Rayleigh (dispersión entre grupos/dispersión dentro de un grupo) para ello se estima la dispersión dentro de cada grupo (S_w) y la dispersión entre grupos (S_b).



La dispersión total (T) es la suma de estas dos matrices ($S_w + S_b$). La dirección que maximiza el cociente es el autovalor correspondiente al mayor autovector de $T^{-1} \cdot B$ donde B es el valor real de la dispersión entre grupos que se estima mediante la varianza muestral S_b . Se repite el proceso hasta obtener todos los ejes discriminantes. Después se proyectan los centroides de los grupos en el hiperplano definido. Así dada una nueva observación esta se proyecta en el hiperplano y se asigna al grupo cuyo centroide se encuentre más cerca utilizando (como norma general) la distancia de Mahalanobis.

Regresión logística multinomial

La regresión logística permite calcular la probabilidad de pertenencia a cada una de las k clases definidas mediante k-1 modelos logísticos que permiten cada uno determinar la probabilidad de pertenencia a una clase determinada y al restar a 1 la suma de todas ellas obtener la probabilidad de pertenencia a la última clase.

Análisis estadístico: selección de modelos y comparación

Para cada uno de los procedimientos descritos se selecciona el mejor modelo de entre los posibles (valor que se obtiene al combinar las siete variables de todas las formas posibles, desde una variable sola hasta las siete de forma conjunta) mediante la validación cruzada al clasificar cada observación con el modelo ajustado con todas las observaciones menos esa (leave-one-out). La proporción de aciertos globales (AG), en todas las clases, se utiliza para seleccionar los mejores modelos dentro de cada procedimiento y posteriormente se refina esta selección teniendo en cuenta las tasas de acierto por grupos (número de observaciones de una clase correctamente clasificadas partido por todas las observaciones de esa clase). Además se utiliza la precisión por clases que se calcula como el número de predicciones correctas (se clasifica como perteneciente a esa clase observaciones que pertenecen a la misma) de la clase dividida por el total de las predicciones en esa clase (tanto si pertenecen a ella como si no). Finalmente los modelos seleccionados para cada procedimiento se comparan de la misma forma entre ellos y para el mejor modelo se calcula el coeficiente de Kappa (K) de Cohen.

3. Información necesaria para implementar el modelo

En todos los casos se ha de recopilar información sobre producción de resina y variables relacionadas como son los siguientes:

- Datos de parcelas de experimentación promovidas en este proyecto.
- Datos de aprovechamientos (proporcionados por los gestores de los montes o empresas)
- Datos de parcelas de experimentación antiguas
- Datos espaciales sobre las condiciones ambientales de las zonas de estudio.

3.1. Datos de parcelas de experimentación promovidas en este proyecto

Cada parcela y árbol han de ser georeferenciados

Son necesarios valores de árbol individual de:

- Diámetro normal
- Altura
- Diámetro de copa
- Altura de copa
- Porcentaje de copa viva (derivado de los anteriores)
- Densidad de la masa (para cada árbol)
- Método de resinación
- Numero de caras
- Numero de picas
- Producción de resina

Para la parcela:

- Suelo
- Temperatura y precipitación verano
- Temperatura y precipitación primavera
- Radiación

Estado hídrico de las plantas

3.2. Datos de aprovechamientos (proporcionados por los gestores de los montes o empresas)

Se utilizarán datos de antiguos sobre la producción de resina en parcelas de experimentación con unos condicionantes determinados.

Estos datos son:

~~○ En estos casos los datos necesarios son:~~

- Localización (coordenadas UTM o geográficas indicando el huso o sistema utilizado). Si no se dispone de las coordenadas, se ha de identificar la unidad de gestión en el monte para poder localizarlo.
- Producción obtenida
- Número de árboles resinados

A partir de información de los servicios provinciales, o si está disponible conviene contar con datos de:

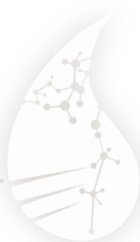
- Método de resinación
- Numero de picas
- Diámetro medio de los árboles
- Espesura media

3.3. Datos de parcelas de experimentación antiguas

Corresponde a datos obtenidos de publicaciones o experimentaciones antiguas. En este caso, se ha de contar con información sobre:

- Localización (coordenadas UTM o geográficas indicando el huso o sistema utilizado). Si no se dispone de las coordenadas, se ha de identificar la unidad de gestión en el monte para poder localizarlo.
- Producción obtenida
- Número de árboles resinados

Si está disponible:



- Método de resinación
- Numero de picas
- Diámetro medio de los arboles
- Espesura media

3.4. Datos espaciales sobre las condiciones ambientales de las zonas de estudio.

- Mapa de disponibilidad hídricas
- Mapa de suelos
- Valores anuales de temperatura y precipitaciones
- Radiación
- Topografía
- Mapas de los montes
- Información sobre inventario forestales (altura, diámetro medio, etc.)

4. Referencias

Lombardero MJ, Ayres MP, Lorio PL, Ruelet JJ. 2000. Environmental effects on constitutive and inducible resin defences of pinus taeda. Ecology Letters, 3 : 329-339

Nanos N, Tadesse W, Montero G, Gil L, Alia R. 2001 Spatial stochastic modeling of resin yield from pine stands. Can J For Res. 31: 1140–1147

Rodriguez-Garcia A. 2016. Factores anatómicos, dendrométricos y climáticos implicados en la producción de resina de Pinus pinaster Aiton. Aplicación a la mejora de los métodos de resinación. Tesis Doctoral. UPM. ETSI Montes. 230 pp



Proyecto Sust Forest Plus

“Estrategia y redes de colaboración para la multifuncionalidad, la conservación y el empleo en el territorio del sur de Europa a través de la extracción de la resina”



Producto

1.3

Modelos de producción de resina

Actividad 1.13-Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas-INIA (4/18 a 3/20)



(Producto 1.3)

Entregable 1.13.1-Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras españolas-INIA (29/11/19)

Autor/Responsable: INIA

Fecha entrega: 29/06/2018

**Interreg
Sudoe**

European Regional Development Fund



SOE2/P5/E0598
www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Índice

Introducción

Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras españolas Objetivo de la Red

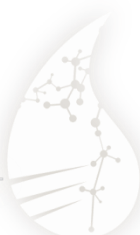
Tipos de parcelas de campo utilizadas

Parcelas de Resin-Lab

Nuevas parcelas evaluadas

Parcelas de validación

Conclusiones



Introducción

Este entregable se encuadra dentro del Producto 1.3, que incluye tres actividades y 3 entregables, de acuerdo a un plan de trabajo detallado en la descripción de la actividad 1.12.

Producto 1.3 Modelos de producción de resina -INIA-(4/18 a 3/20-30/03/20)

Actividad 1.12-Definición de la metodología de ajuste del modelo de producción de resina para Pinus pinaster-INIA- (4/18 a 6/18)

Entregable 1.12.1- INIA (30/06/18)

Actividad 1.13-Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas-INIA (4/18 a 3/20)

Entregable 1.13.1-Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras españolas-INIA (29/11/19)

Actividad 1.16-Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales -INIA- (4/18 a 4/20)

Entregable 1.16.1-Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales para el espacio SUDOE-INIA (30/04/20)

Entregable 1.16.2-Guía para la aplicación del modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales – INIA (30/04/20)

Modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales

Se trata de una herramienta para la gestión técnica de la Estrategia para el Aprovechamiento Sostenible de las Resinas Naturales Europeas esencial para la toma de decisiones.

El resultado tiene gran importancia desde el punto de vista de la estandarización y homologación de la evaluación de la producción forestal potencial en los tres países participantes en el proyecto. La metodología propuesta permitirá la extensión de esta homologación a toda la cuenca mediterránea.

El trabajo capitaliza y toma como punto de partida los modelos georeferenciados existentes, mejorados durante el desarrollo de este proyecto. El ajuste de los modelos se realiza, mediante ensayos con una metodología común (actividad 1.12), que serán realizados por los diferentes socios del proyecto en los tres países (Actividades 1.13, 1.14 y 1.15), cuyos resultados se integrarán posteriormente por INIA como un sistema único para el espacio SUDOE (Actividad 1.1).

Los resultados se pondrán a disposición de los gestores de la Red Europea de Territorios Resineros, y de la comunidad forestal en general, mediante una guía de aplicación del modelo.

Estos modelos se capitalizan dentro del proyecto mediante la integración en un sistema para la generación de mapas de producción esperada (Producto 1.6) que servirá para la valoración estratégica de la rentabilidad de explotación bajo la selvicultura actual como herramienta para seleccionar zonas para resinación, y para descartar aquellas con baja producción que no aseguran la rentabilidad de las operaciones.

Lo que contribuirá a una mejor planificación temporal de la oferta de resina en el conjunto del territorio.

Este producto contribuye al objetivo específico de proyecto "Convertir las masas del sudodeste europeo en una fuente abundante y sostenible de resina a medio y largo plazo al permitir una mejor planificación espacio-temporal de la oferta de resina.

Actividad 1.13. Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas

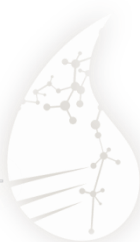
Fecha de inicio 3.2018 Fecha de fin 3.2020

Ensayos de campo de producción de resina en España y/o adaptación de datos de producción existentes para la puesta a punto y generalización del modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico existente para una parte de la meseta Castellana (Nikos et al. 2002), que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales.

Para la realización de estos trabajos se estará a las orientaciones técnicas que se determinen en la actividad 1.12.

Tareas:

1. Análisis y validación de datos existentes.
2. Realización de ensayos necesarios para completar datos existentes durante dos campañas mediante aplicación de métodos de estimación indirecta. Microresinación. La evaluación se realizará durante dos campañas de resinación (2018 y 2019), en parcelas experimentales de la Red de Parcelas Permanentes que se crea en el proyecto como Producto 1.4. Esta evaluación responde a un diseño dirigido, coordinado y armonizado en los tres países participantes.



Ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras española

1. Tipos de parcelas de campo utilizadas

Las parcelas utilizadas para el ajuste de modelos tiene distintos orígenes:

- Parcela incluidas en la red Resin-Lab con datos de campañas anteriores.
- Parcelas muestreadas en el proyecto Sustforest+ para completar la cobertura espacial de los territorios resineros en la zona de Coca/Cuellar
- Datos procedentes de las empresas colaboradoras para validar el modelo.

2. Parcelas de Resin-lab

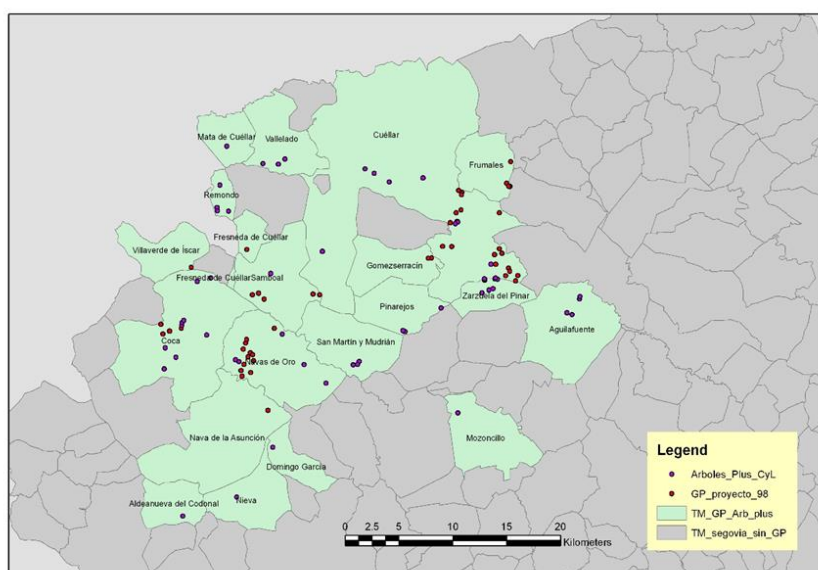


Figura 1. Localización de parcelas utilizadas procedentes de Resin-lab

Estas parcelas corresponden a 101 puntos de muestreo que cubren el área de Coca/Cuellar y evaluados durante 2/3 años (ver tabla 1).

Tabla 1. Parcelas de la Resin-Lab utilizadas para la construcción del modelo

Codigo	N Años	Codigo	N Años	Codigo	N Años	Codigo	N Años
JCYL001	2	JCYL027	2	MC1	2	MC32	2
JCYL002	3	JCYL028	2	MC10	2	MC34	2
JCYL003	3	JCYL029	2	MC103	2	MC35	2
JCYL004	3	JCYL030	2	MC104	2	MC36	2
JCYL005	4	JCYL031	2	MC105	2	MC39	2
JCYL006	4	JCYL032	2	MC11	2	MC4	2
JCYL007	4	JCYL033	2	MC113	2	MC40	2
JCYL008	4	JCYL034	2	MC114	2	MC41	2
JCYL009	4	JCYL035	2	MC115	2	MC42	2
JCYL010	2	JCYL036	2	MC12	2	MC43	2
JCYL011	2	JCYL037	2	MC127	2	MC44	2
JCYL012	3	JCYL038	2	MC14	2	MC55	2
JCYL013	3	JCYL039	2	MC15	2	MC6	2
JCYL014	3	JCYL040	3	MC17	2	MC62	2
JCYL015	3	JCYL041	3	MC18	2	MC63	2
JCYL016	3	JCYL042	2	MC21	2	MC64	2
JCYL017	3	JCYL043	2	MC22	2	MC68	2
JCYL018	3	JCYL044	1	MC23	2	MC7	2
JCYL019	3	JCYL045	1	MC25	2	MC71	2
JCYL020	3	JCYL046	2	MC27	2	MC8	2
JCYL021	1	JCYL100	2	MC28	2	MC80	2
JCYL022	2	JCYL101	2	MC29	2	MC81	2
JCYL023	1	JCYL102	1	MC3	2	MC82	2
JCYL025	2	JCYL201	1	MC30	2	MC87	2
JCYL026	2	JCYL205	1	MC31	2	MC88	2
						MC9	2

3. Nuevas parcelas evaluadas

Se plantea un experimento para evaluar la producción de resina en parcelas de pino pinaster en Segovia. Para ello se utilizará un método de evaluación simplificado, probado en 1999, y que muestra buena correlación con la producción total. El método consiste en un taladro de 12 cm de profundidad a 30-50 cm del suelo, en el que se rellena de estimulante de base ethrel. Se coloca una bolsa cerrada para que no se pierda resina. Al mes de la instalación se retira y pesa la producción. Se plantea la evaluación de 20 parcelas. En cada parcela se evalúan 10 árboles.



Las parcelas elegidas se recogen en la tabla 2.

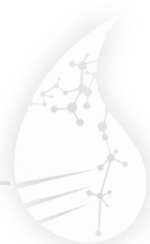
Tabla 2. Parcelas muestreadas para la realización del modelo de producción de resina.

Codigo	LON	LAT	MUP	Tramo	Comarca
1	4° 28' 46.04" W	41° 19' 49.01" N	43	III	CU
2	4° 29' 22.55" W	41° 21' 7.76" N	43	I	CU
3	4° 29' 33.13" W	41° 19' 59.65" N	43	III	CU
4	4° 29' 30.23" W	41° 19' 49.28" N	43	III	CU
5	4° 25' 3.51" W	41° 22' 29.54" N	224	II	CU
6	4° 25' 30.84" W	41° 22' 13.67" N	224	II	CU
7	4° 13' 29.20" W	41° 19' 27.90" N	48	IV	CU
8	4° 13' 38.09" W	41° 19' 22.66" N	48	IV	CU
9	4° 11' 13.91" W	41° 17' 21.85" N	48	IV	CU
10	4° 29' 52.62" W	41° 16' 27.40" N	105	II	CO
11	4° 30' 5.26" W	41° 13' 35.11" N	105	II	CO
12	4° 28' 8.44" W	41° 12' 22.53" N	105	II	CO
13	4° 27' 54.66" W	41° 12' 16.60" N	105	II	CO
14	4° 25' 53.79" W	41° 16' 44.44" N	46	II	CO
15	4° 19' 54.15" W	41° 12' 23.15" N	51	II	CO
16	4° 20' 1.13" W	41° 12' 13.76" N	51	II	CO
17	4° 20' 17.63" W	41° 12' 12.34" N	51	II	CO
18	4° 31' 44.75" W	41° 14' 3.47" N	106	II	CO
19	4° 31' 44.72" W	41° 14' 11.32" N	106	II	CO
20	4° 31' 37.75" W	41° 14' 18.22" N	106	II	CO
22	4° 32' 51.77" W	41° 11' 50.99" N	104	II	CO
100	4° 19' 42.25" W	41° 22' 3.18" N	10	II	CU
101	4° 19' 5.84" W	41° 21' 50.70" N	10	II	CU

4. Parcelas de validación

Se cuenta con información de 32 lotes comerciales de producción de resina proporcionados con el objetivo de validar los resultados obtenidos en el modelo. Estos datos son confidenciales, y se incluye a continuación las variables utilizadas en el proceso (tabla 3).

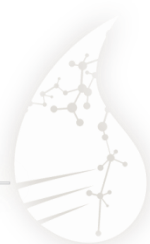
Tabla 3. Variables disponibles para 32 lotes que permiten la validación del modelo obtenido



Variable	Descripcion
ETIQUETA	Identificado
MONTE	Monte
COD_RES	Código del resinero
CODGO_LOTE	Código del lote
AREA	Superficie resinada
XCENTROIDE	Coordenada X de la mata
YCENTROIDE	Coordenada Y de la mata
KGLOT	Producción en Kg

Conclusiones

- El modelo construido se ha basado en los dos experimentales de 122 parcelas de campo en la zona de Coca/Cuellar y en la validación a través del uso de 32 lotes comerciales de resina.
- El ámbito geográfico está ampliamente cubierto para predecir la producción de resina.
- Los datos obtenidos se han incorporado a una base de datos que está disponible dentro de Resin-Lab.



Tests d'ajustement du modèle de production

“Obtención de datos para el ajuste del modelo de producción”

“Obtaining data for the production model fitting”

Projet SUSTFOREST+, livrable 1.14

Armand CLOPEAU, Eliau HANNEBICQ, Gabriel DUCOS, Christophe ORAZIO, Henri HUSSON

**Institut Européen de la Forêt Cultivée, Centre National de la Propriété Forestière Nouvelle
Aquitaine**

27 octobre 2020

Table des matières

Introduction.....	3
Objectifs	3
Tables des illustrations	4
Figures.....	4
Tableaux.....	4
1. Données issues de la littérature	5
1.1. Âge et circonférence de l'arbre	5
1.2. Volume du houppier	5
1.3. Position de la care.....	6
1.4. Ensoleillement de la care.....	6
1.5. Distance à l'océan.....	6
1.6. Période de récolte	7
1.7. Dimensions de la care.....	7
1.8. Âge de la care	8
1.9. Vigueur de l'arbre	8
2. Données d'entreprises et de gemmeurs	8
3. Données d'expérimentation	9
3.1. Méthode de gemmage	9
3.2. Analyse descriptive.....	13
1.1.1 Variables dendrométriques	13
1.1.2 Variables stationnelles.....	16
1.1.3 Effet de l'amélioration génétique	20
Conclusion	21
Glossaire	23
Bibliographie.....	23
Annexe 1 - Protocole expérimental.....	24
Annexe 2 - Carte des arbres gemmés sur la parcelle 34-1 de la forêt domaniale du C.A.E.P.E.	28
Annexe 3 - Cartes des placettes gemmées	29
Annexe 4 - Localisation des placettes gemmées	52

Introduction

Le gemmage existe en France depuis l'époque gallo-romaine mais la phase industrielle débuta au cours du XVII^{ème} siècle. L'essor du gemmage a commencé au XIX^{ème} siècle avec les plantations massives qui ont lieu dans les landes de Gascogne. L'activité de gemmage est à son âge d'or vers 1920, avec une production de 178 millions de litres gemme cette année-là, mais elle a connu un fort déclin depuis (Lerat, 1960). Le 23 octobre 1920, le gouvernement français interdit les exportations de résine (Bussy, 1971). La production de gemme française a ensuite diminué à partir des années 1960 jusqu'à disparaître en 1990. Ce déclin est principalement dû à la concurrence d'autres pays producteurs sur le marché international.

De 2011 à 2014, la société Holiste a mené une étude sur la faisabilité du gemmage en Aquitaine. Depuis, l'entreprise a démarré une nouvelle activité de collecte de résine dans le but principal de produire de l'essence de térébenthine. Cette dernière est ensuite transformée en huile essentielle puis commercialisée pour être utilisée avec un appareil d'aromathérapie. En 2018, la production de gemme d'Holiste a été de 45 tonnes.

Objectifs

Ce travail a pour objectif d'améliorer l'estimation de la productivité en gemme d'un modèle, fonction de plusieurs variables (*Livrable 1.16 - Projet SustForest+*). Ce livrable est consacré à la collecte de données concernant le gemmage en France. Deux autres livrables du projet SustForest+ complètent ce travail en apportant des données sur le gemmage au Portugal (*Livrable 1.15*) et en Espagne (*Livrable 1.14*).

Trois sources de données sont considérées :

- Données obtenues lors d'expérimentations passées, issues de la bibliographie ;
- Données collectées auprès d'entreprises de gemmage ;
- Données issues d'expérimentations.

Tables des illustrations

Figures

Figure 1 : Production en gemme moyenne par arbre et par an en fonction de la circonférence des arbres	5
Figure 2 : Production de gemme moyenne par care et par an en fonction de l'exposition au soleil	6
Figure 3 : Production de gemme moyenne par care et par an en fonction de la distance à l'océan	7
Figure 4 : Production de gemme moyenne par care en fonction de la date de récolte	7
Figure 5 : Production de gemme moyenne par arbre et par an en fonction de variations de hauteur de largeur de la care	8
Figure 6 : Production de gemme moyenne constatée par arbre et par an en fonction du lieu de gemmage	9
Figure 7 : Préparation de l'écorce et piquage selon la méthode de gemmage Borehole	10
Figure 8 : Application d'activant	10
Figure 9 : Poches de collecte installées avant et après la phase d'écoulement de la gemme	11
Figure 10 : Bouchage d'un trou après ramassage du sac de collecte	11
Figure 11 : Coefficient de variation de la production de résine en fonction du nombre d'arbres échantillonnés	12
Figure 12 : Production de gemme par arbre en fonction du statut social	13
Figure 13 : Production de gemme par arbre en fonction de l'âge	14
Figure 14 : Production de gemme par arbre en fonction du diamètre	14
Figure 15 : Production de gemme par arbre en fonction de la densité du peuplement	15
Figure 16 : Production de gemme par arbre en fonction de la surface terrière	15
Figure 17 : production de gemme par arbre en fonction du volume du houppier	16
Figure 18 : Production de gemme par arbre en fonction du contexte stationnel	17
Figure 19 : Production de gemme par arbre en fonction de la situation topographique en contexte dunaire	18
Figure 20 : Production de gemme par arbre en fonction du type de lande en contexte de plateau	19
Figure 21 : Production de gemme par arbre en fonction de la coordonnée géographique Y	19
Figure 22 : Production de gemme par arbre en fonction de la distance à l'océan	20
Figure 23 : Production de gemme par arbre en fonction de la variété en forêt domaniale du C.A.E.P.E.	21
Figure 24 : Raccord de jonction goutte à goutte 16x16mm	25
Figure 25 : Collier de serrage	25
Figure 26 : Système de collecte installé sur un arbre, après la phase d'écoulement de la gemme	25

Tableaux

Tableau 1 : Nombre d'arbres gemmés par modalité	12
---	----

1. Données issues de la littérature

Bien que le gemmage ait constitué une activité majeure pour la région des Landes, les archives scientifiques sur ce sujet sont rares. En outre, le renouveau du gemmage en France étant récent et limité, aucun article de cette époque n'a été publié dans une revue scientifique.

Dans ce type de littérature, il n'existe donc pas de références utilisables en vue d'améliorer le modèle d'estimation de la productivité en gemme. Toutefois, un recueil d'études (Oudin, 1938) apporte des informations sur les facteurs de variation de la productivité en gemme dans le massif des Landes connus à l'époque.

Il est important de souligner que la méthode de gemmage utilisée à l'époque consistait à réaliser une blessure superficielle longue et étroite - appelée care - sur l'arbre, et à collecter la résine dans un pot accroché directement à l'arbre. Le gemmage pouvait être pratiqué sur un même arbre avec une ou plusieurs cares ouvertes simultanément. Cette technique, appelée Hugues, diffère de la méthode Borehole utilisée dans cet essai et des autres méthodes actuellement employées dans le monde. Cette différence de méthode empêche la comparaison directe des productions, bien que les facteurs non liés à la technique influencent de la même façon la productivité en gemme.

Les facteurs de variation présentés ci-après sont issus du recueil d'études de A. Oudin.

1.1. Âge et circonférence de l'arbre

Le rendement en gemme croît avec le diamètre ou l'âge des pins, ces variables étant corrélées entre elles.

Le graphe ci-après a été réalisé à partir des données de production de 660 arbres gemmés pendant 4 ans dans la forêt de Lacanau :

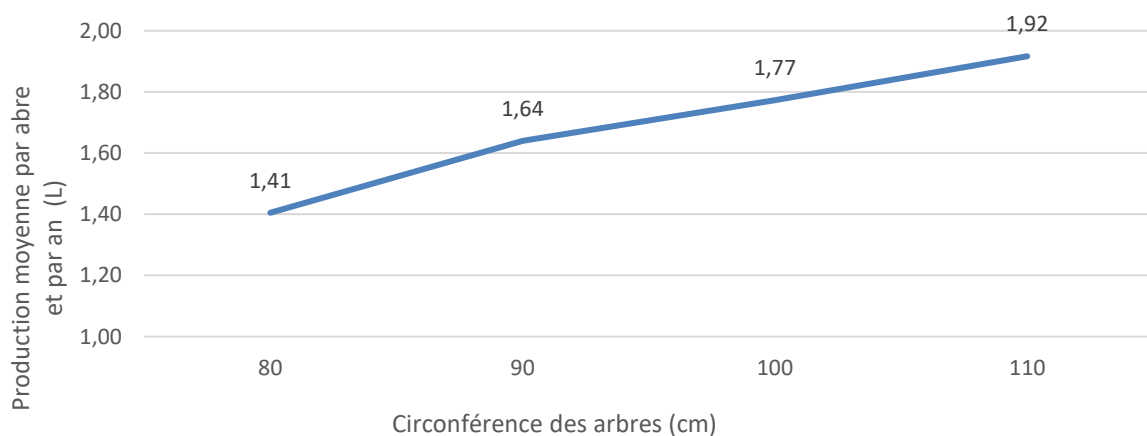


Figure 1 : Production en gemme moyenne par arbre et par an en fonction de la circonférence des arbres

Seules les données recueillies sur le site de Lacanau ont été choisies pour la constitution de ce graphe afin d'éliminer les potentielles variations liées au site.

1.2. Volume du houppier

Concernant l'influence du volume du houppier, il y aurait en général une certaine corrélation entre le développement de la cime et la production. En effet, une expérience réalisée sur 40 arbres en forêt de Saint-Trojan montre que les arbres présentant un houppier plus développé présentent en général un rendement plus important que les arbres ayant un houppier moyennement ou peu développé.

Cependant, cette corrélation est peut-être dépendant du contexte car une même expérience réalisée en forêt de Saint-Augustin n'a pas montré de meilleure productivité pour les arbres présentant un houppier plus développé.

1.3.Position de la care

Il a été observé que l'orientation des cares n'a pratiquement aucune influence notable sur la quantité de gemme produite. La care Ouest paraît en général un peu plus productrice mais la différence est négligeable.

De la même façon, il a été retenu qu'il n'existe pas d'écart sensible de production suivant la hauteur des cares sur l'arbre.

1.4.Ensoleillement de la care

D'après une expérience réalisée sur 8 arbres gemmés à 2 cares pendant 3 ans en forêt de Saint-Trojan, l'ensoleillement direct de la care semble avoir une influence positive sur la production de gemme :

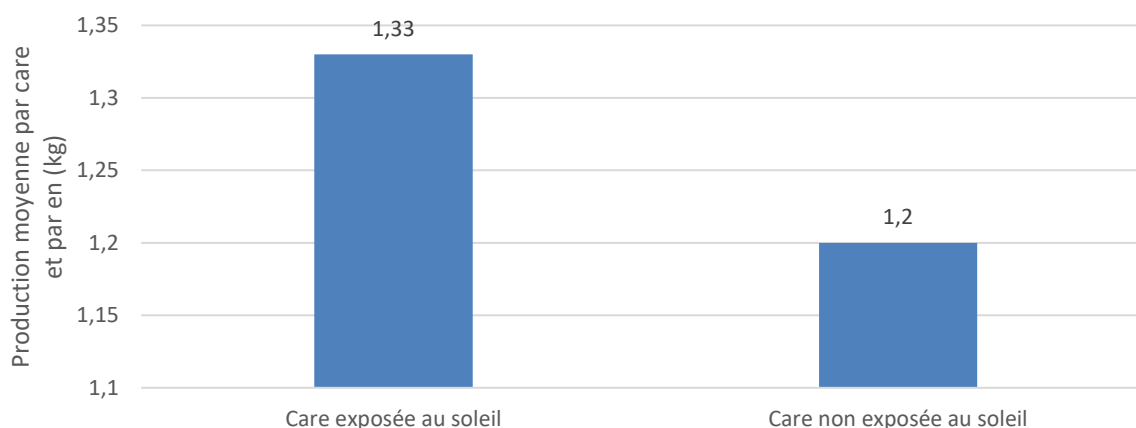


Figure 2 : Production de gemme moyenne par care et par an en fonction de l'exposition au soleil

Les différences constatées entre une care ensoleillée et non-ensoleillées sont maximales en 2^{ème} année de gemmage.

1.5.Distance à l'océan

Un essai réalisé sur 300 arbres gemmés à 1 ou 2 cares pendant 8 ans en forêt domaniale d'Hourtin a montré que les pins des dunes situés à une distance relativement rapprochée de l'océan ont une production supérieure à ceux qui occupent une station plus éloignée.

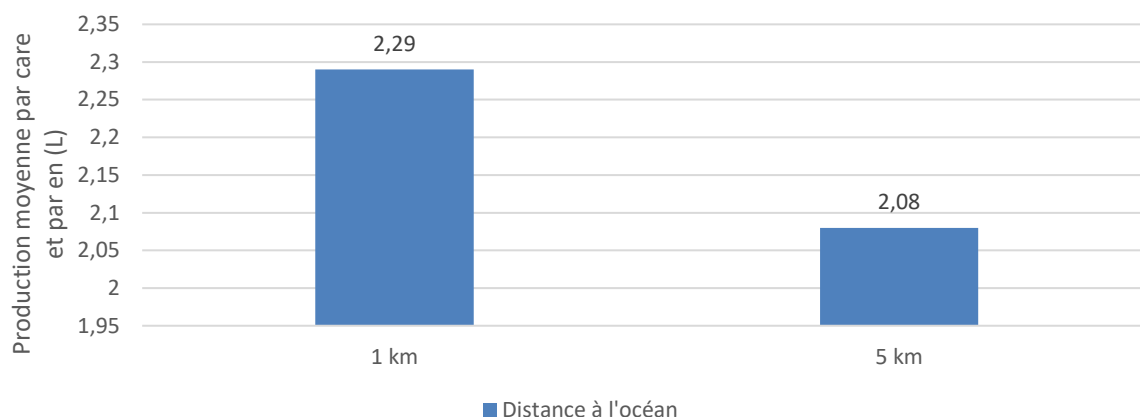


Figure 3 : Production de gemme moyenne par care et par an en fonction de la distance à l'océan

Il a été supposé que cette augmentation de production soit surtout liée à l'état hygrométrique, l'air étant un peu plus humide au voisinage de l'océan. Les peuplements voisins de l'océan sont plus favorisés que les peuplements éloignés, leur production étant moins influencée par les variations d'état hygrométrique.

1.6.Période de récolte

Les données utilisées pour comparer la productivité en gemme en fonction de la période de récolte sont issues du gemmage de plus de 10 000 sur une période totale d'une douzaine d'années sur deux stations différentes : la forêt de Lacanau et la forêt d'Hourtin. La production moyenne journalière est importante de juin à août mais elle est beaucoup plus faible en mars, avril et octobre.

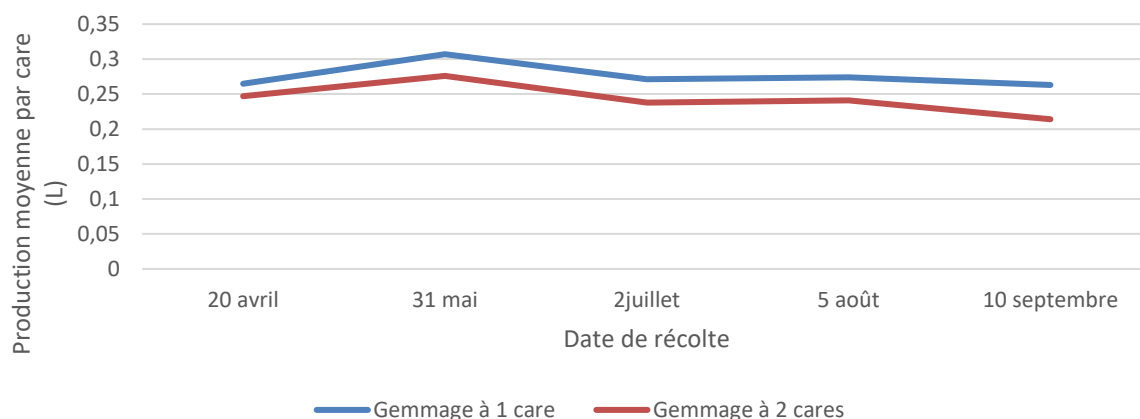


Figure 4 : Production de gemme moyenne par care en fonction de la date de récolte

D'une façon générale, la période de récolte la plus productive est celle de la fin du printemps (2^{ème} récolte le 31 mai). Viennent ensuite les récoltes d'été (juillet et août) avec des productions équivalentes et enfin celles de mars, avril et septembre, octobre. La dernière période de récolte, du 20 octobre, n'a pas été indiquée car elle comporte le barras en plus de la gemme, ce qui empêche de connaître la quantité exacte de gemme produite.

1.7.Dimensions de la care

D'après une expérience réalisée sur 200 arbres durant 8 ans en forêt de Lacanau, l'augmentation du rendement en gemme est notable lorsqu'on augmente la surface de la care (largeur, hauteur).

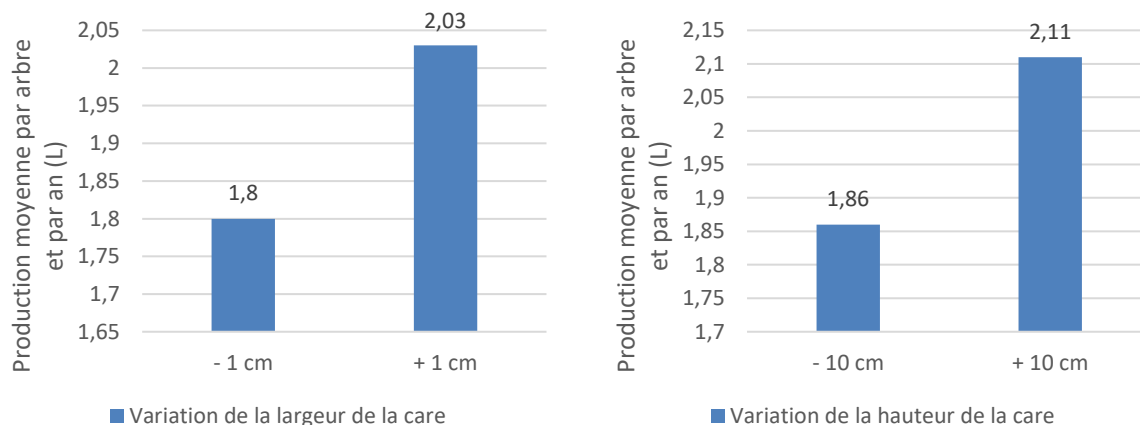
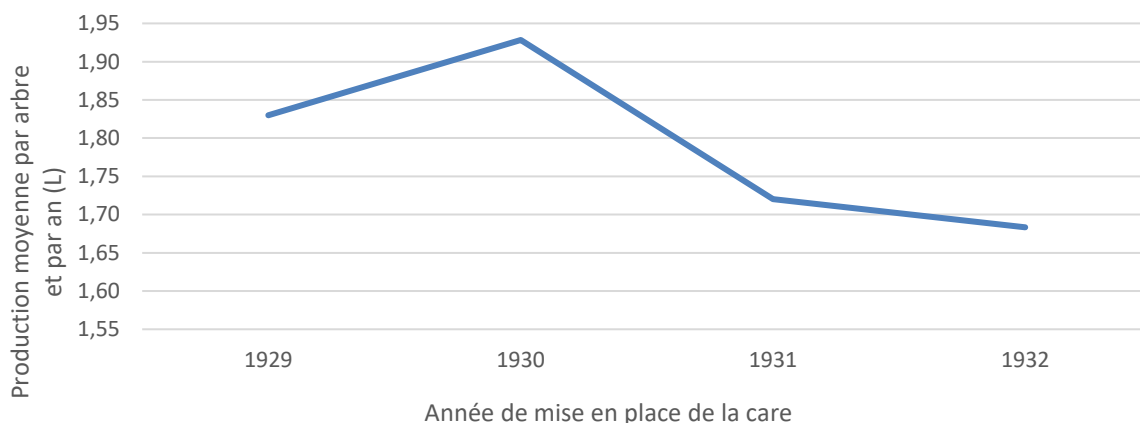


Figure 5 : Production de gemme moyenne par arbre et par an en fonction de variations de hauteur de largeur de la care

1.8.Âge de la care

Une production plus élevée est constatée durant la 2^{ème} année de gemmage. La production décroît ensuite au cours des deux années suivantes :



1.9.Vigueur de l'arbre

A. Oudin indique que le gemmage à une care peut être poursuivi sans interruption pendant une longue période sans nuire sérieusement à la production de gemme, lorsque les pins sont jeunes et vigoureux. Il prend pour exemple les arbres des forêts de Saint-Trojan où le gemmage a été effectué sur des pins d'au moins 100 cm de circonférence. Lorsque les pins commencent à dépérir, comme c'était le cas en forêt de Saint-Augustin à l'époque, il est considéré comme plus avantageux de pousser le gemmage sans interruption plutôt que de ménager des paliers de repos. Dans un cas comme dans l'autre, il ne semble donc pas nécessaire de mettre en place des périodes de repos pendant l'activité de gemmage.

En revanche, le gemmage à 2 cares amène, s'il est effectué prématurément et sans interruption, une fatigue et une diminution notable de la production. Dans ce cas, des périodes de repos sont conseillées.

2. Données d'entreprises et de gemmeurs

En France, les acteurs du gemmage sont très peu nombreux et concentrés en Nouvelle-Aquitaine. L'entreprise Holiste est la plus importante en France, produisant environ 50 T de gemme par an. La méthode de gemmage utilisée est la méthode Biogemme dont les principales caractéristiques

sont la réalisation de trous peu profonds à la perceuse et la collecte en vase clos. En accord avec les résultats présentés dans le recueil d'études de A. Oudin, les rendements d'exploitation moyens qui y sont constatés sont meilleurs à proximité de l'océan :

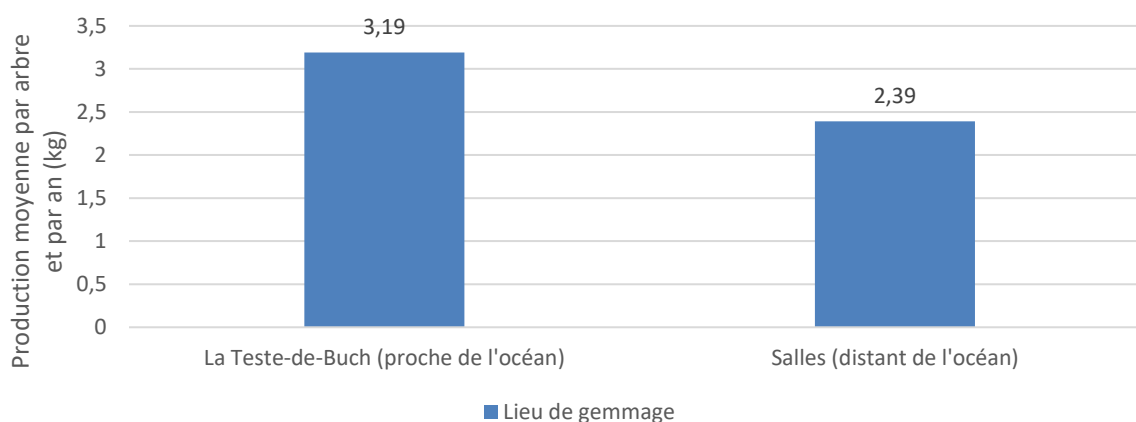


Figure 6 : Production de gemme moyenne constatée par arbre et par an en fonction du lieu de gemmage

L'entreprise d'expertise forestière Domaines et Patrimoines a également annoncé employer une dizaine de gemmeurs mais les données de productions ne sont pas partagées. Thibaut Lemaire, de la Compagnie d'Exploitation Forestière Nouvelle Aquitaine, a également débuté le gemmage à La Teste-de-Buch en 2018 mais aucune mesure n'a été faite concernant la productivité en gemme. Enfin, quelques tests ont été réalisés par l'association Gemme la Forêt d'Aquitaine, mais ceux-ci étaient davantage axés sur la technique de production.

Le secret des affaires et le faible nombre de gemmeurs en France empêche l'acquisition de données de productions actuelles.

Liste des sociétés pratiquant le gemmage en Nouvelle-Aquitaine :

- Holiste (<https://www.holiste.com/>)
- Domaines et Patrimoines (<https://www.domaines-et-patrimoine.fr/>)
- Compagnie d'Exploitation Nouvelle Aquitaine

3. Données d'expérimentation

En l'absence de protocole permettant la collecte homogène de données dans les trois pays concernés par l'essai (France, Espagne, Portugal), l'IEFC a proposé un protocole expérimental. Celui-ci a été conçu avec les objectifs suivants :

- Fournir des données à l'INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) en vue d'améliorer le modèle de d'estimation de la productivité en gemme ;
- Identifier des facteurs influençant la productivité en gemme sur le massif des Landes.

3.1.Méthode de gemmage

La méthode de gemmage Borehole (Alan W. Hodges, 1997) a été choisie pour sa rapidité d'exécution et sa reproductibilité.

Afin de faciliter le maintien du sac de collecte à l'arbre, l'écorce est d'abord amincie à la hache ou à la serpe sans atteindre le bois.

Ensuite, un trou de 16 mm de diamètre et de 12 cm de profondeur est percé sur chaque arbre. Les trous ont été effectués à 50 cm du sol et sur la face la plus orientée au nord, selon la direction radiale :



Figure 7 : Préparation de l'écorce et piquage selon la méthode de gemmage Borehole

Un activant composé d'acide sulfurique, d'éthéphon et d'argile est ensuite appliqué sur l'arbre en remplissant intégralement le trou.



Figure 8 : Application d'activant

Une poche de collecte est ensuite posée, fixée avec un collier de serrage à un raccord goutte à goutte pour arrosage par lequel la résine s'écoule.



Figure 9 : Poches de collecte installées avant et après la phase d'écoulement de la gemme

Chaque poche reste en place 21 jours avant d'être ramassée. Le trou est ensuite rebouché avec de la pâte à bois afin d'empêcher l'entrée de pathogènes.



Figure 10 : Bouchage d'un trou après ramassage du sac de collecte

Après collecte, les poches ont été fermées hermétiquement puis pesées. Elles ont ensuite été transmises à l'université de Pau pour y analyser la composition chimique de la gemme contenue dans chacune des poches. Les résultats pourront être utilisés pour identifier l'effet des variables considérées sur la composition en terpènes ou des indicateurs de qualité de la gemme.

Choix de l'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage s'appuie sur la formule du coefficient de variation de la production de gemme déterminé par l'INIA :

$$CV = 0,4059 \times Nb \text{ d'arbres}^{-0,432}$$

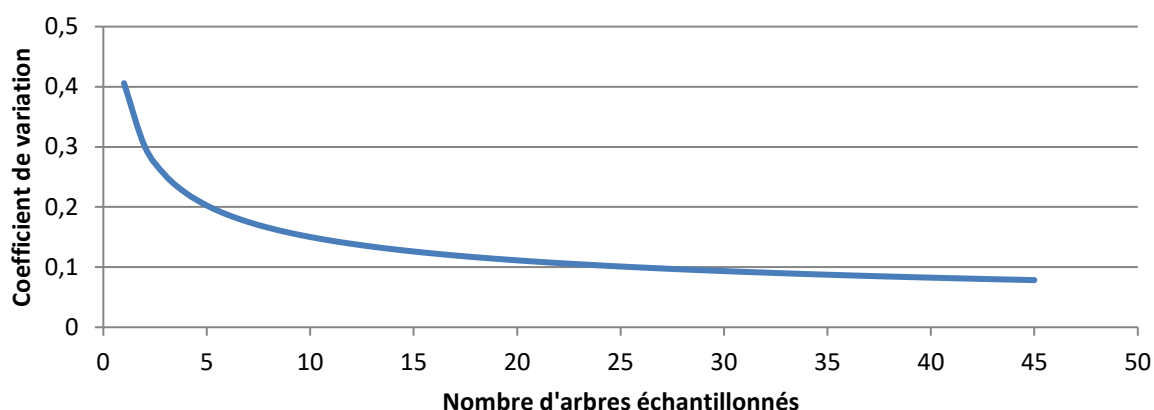


Figure 11 : Coefficient de variation de la production de résine en fonction du nombre d'arbres échantillonnés

Au-delà de 10 arbres par échantillon, on considère que l'estimation de la production du peuplement est suffisamment précise avec un coefficient de variation inférieur à 15%. Dans cet essai, il n'a pas été nécessaire d'augmenter le nombre d'arbres gemmés et donc d'abaisser davantage le coefficient de variation pour mettre en évidence des différences de productivité. Les différences qui auraient alors été mise en évidence de cette façon auraient été de trop faible incidence pour servir au choix des parcelles à gemmer.

Au total, 140 arbres ont été gemmés, répartis selon les modalités suivantes :

N° Placettes	Contexte	Distance à l'océan (km)	Station	Variétés améliorées	Nombre d'arbres gemmés
9	Dune	1,2	Bas de pente	Non	6
7	Dune	0,8	Pente ouest	Non	6
8	Dune	1,1	Haut de pente	Non	6
12	Dune	2,7	Bas de pente	Non	6
11	Dune	2,5	Pente ouest	Non	6
10	Dune	2,7	Haut de pente	Non	6
4	Dune	4,3	Bas de pente	Non	6
6	Dune	4,4	Pente ouest	Non	6
5	Dune	4,2	Haut de pente	Non	6
1, 15, 17	Plateau	> 25	Lande sèche	Non	18
2, 13, 18	Plateau	> 25	Lande Mésophile	Non	18
3, 14, 16, 22,23	Plateau	> 25	Lande humide	Non	34
19, 20, 21	Plateau	> 25	Lande humide	Oui	16

Tableau 1 : Nombre d'arbres gemmés par modalité

Les cartes et localisations des placettes gemmées sont respectivement présentées en annexes 3 et 4 de ce document. Les placettes définies dans cet essai ont été intégrées au réseau ResinLab (<https://www.sust-forest.eu/fr/contenido/sustforest-resin-lab>) créé dans le projet SustForest+. Il

s'agit d'un réseau de suivi de placettes expérimentales hétérogènes consacrées à des expérimentations de gemmage.

3.2. Analyse descriptive

1.1.1 Variables dendrométriques

1.1.1.1 Statut social

Classés par statut social, la répartition des effectifs est la suivante :

- Dominé : 20 arbres ;
- Codominant : 96 arbres ;
- Dominant : 24 arbres.

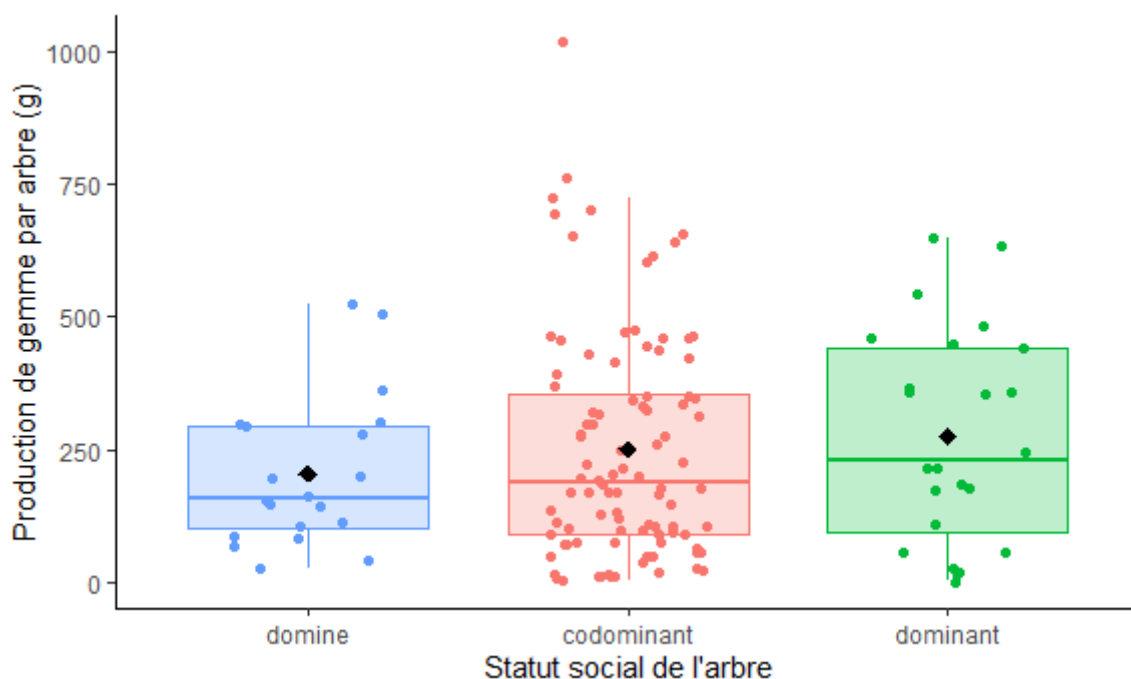


Figure 12 : Production de gemme par arbre en fonction du statut social

Les arbres dominants semblent plus productifs en gemme mais cet effet est peu marqué.

1.1.1.2 Âge

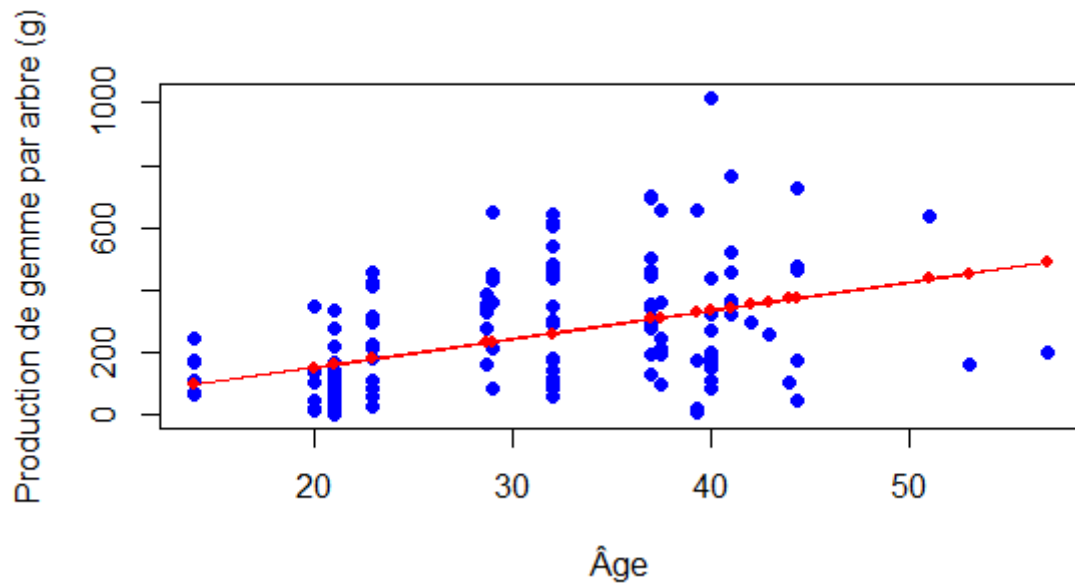


Figure 13 : Production de gomme par arbre en fonction de l'âge

La productivité en gomme croît avec l'âge des arbres.

1.1.1.3 Diamètre

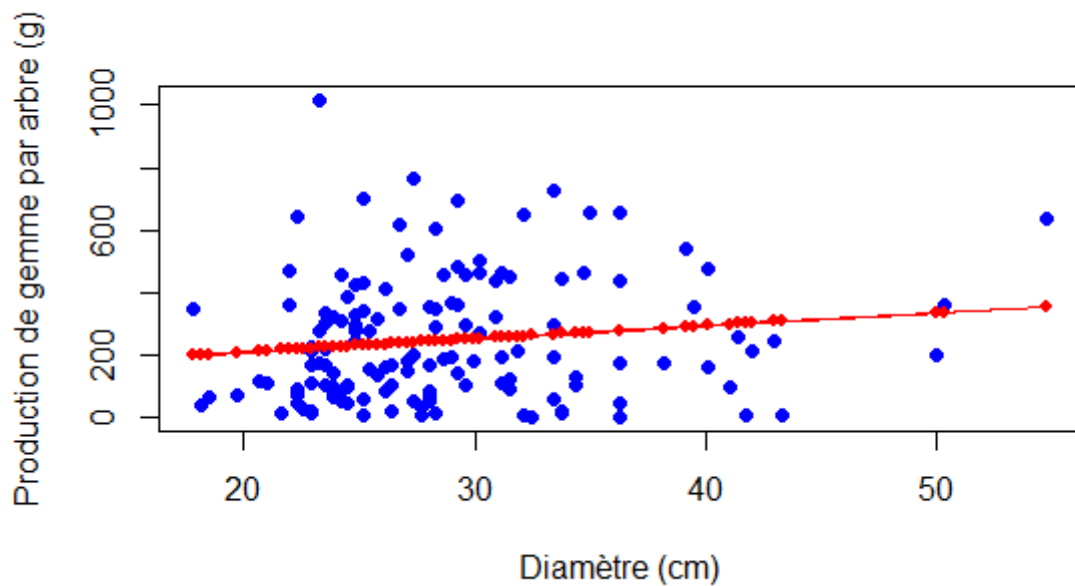


Figure 14 : Production de gomme par arbre en fonction du diamètre

La production en gomme est plus élevée pour les arbres de plus grand diamètre. Même si le diamètre est fortement corrélé à l'âge, l'effet de l'âge sur la production de résine semble être le plu marqué.

1.1.1.4 Densité du peuplement

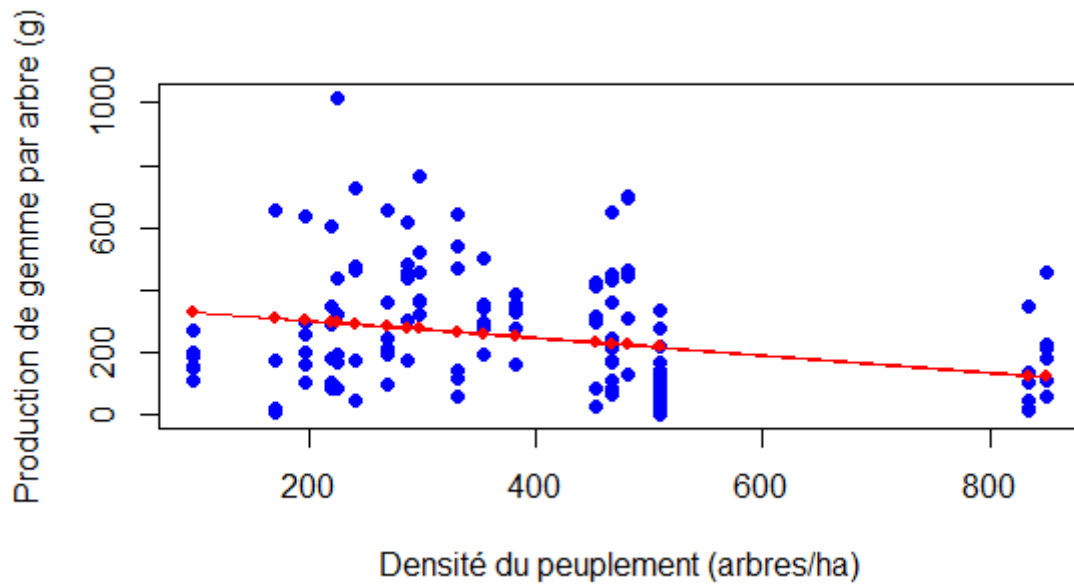


Figure 15 : Production de gomme par arbre en fonction de la densité du peuplement

La production de gomme est supérieure lorsque la densité d'arbres est faible. Une faible densité limite la concurrence entre arbres et augmente l'ensoleillement. Néanmoins, la densité est une variable corrélée à l'âge et au diamètre, qui jouent également un rôle dans la production de résine.

1.1.1.5 Surface terrière

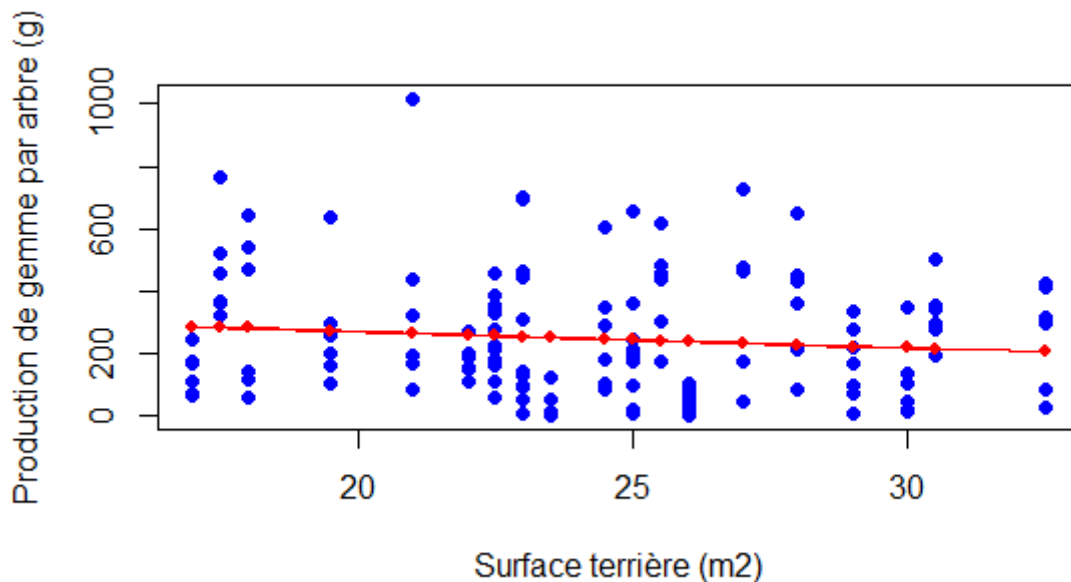


Figure 16 : Production de gomme par arbre en fonction de la surface terrière

L'effet de la surface terrière sur la production de gomme est peu marqué.

1.1.1.6 Volume du houppier

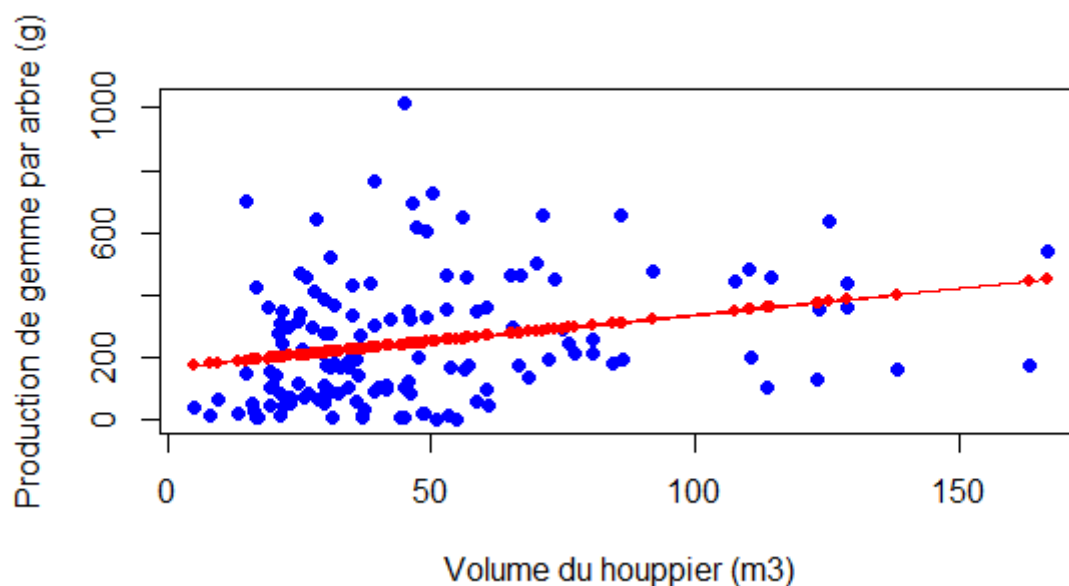


Figure 17 : production de gemme par arbre en fonction du volume du houppier

La production de gemme est plus importante lorsque le volume du houppier est élevé. Le volume du houppier est fortement corrélé à l'âge et au diamètre des arbres. Toutefois, cette variable apporte des informations sur la sylviculture pratiquée : des arbres présentant un houppier plus développé ont moins été soumis à la concurrence des autres dans le peuplement.

1.1.2 Variables stationnelles

1.1.2.1 Contexte stationnel

Les placettes ont été choisies de façon à refléter la plus grande diversité possible de contextes stationnels sur le massif des Landes. Deux principaux types de contextes existent pour le pin maritime :

- Contexte dunaire : 54 arbres
- Contexte de plateau : 86 arbres

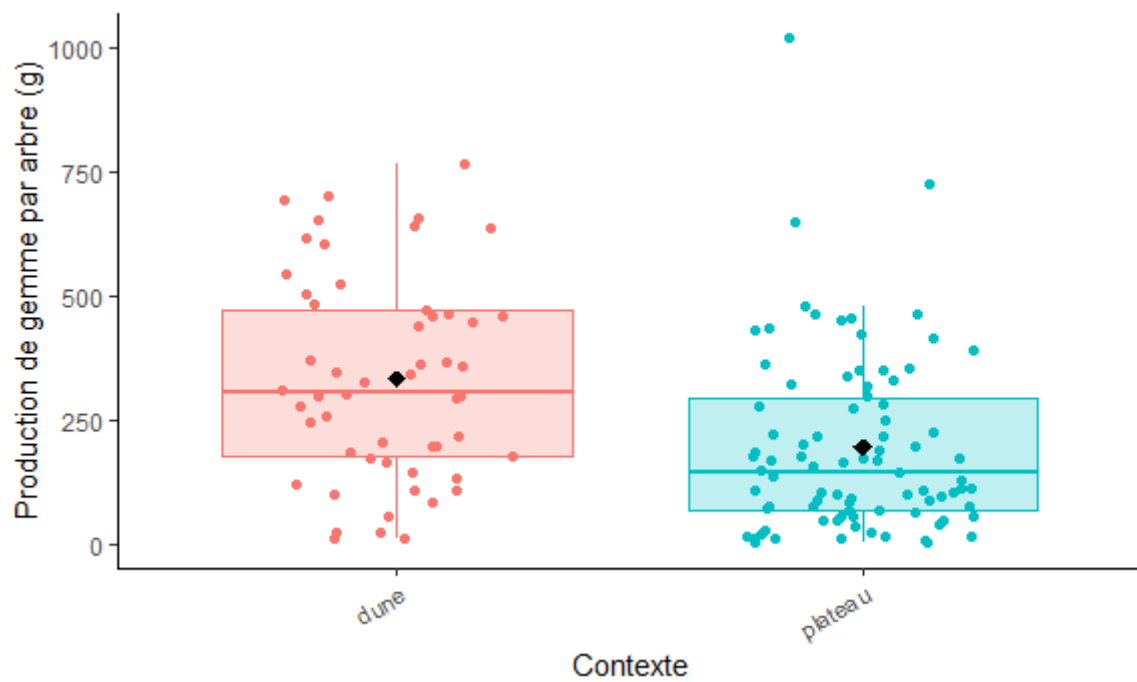


Figure 18 : Production de gomme par arbre en fonction du contexte stationnel

La productivité en gomme semble supérieure en contexte dunaire. Il est important de souligner que ce paramètre est fortement corrélé à celui de la distance à l'océan.

1.1.2.1.1 Contexte dunaire

En contexte dunaire, les placettes de gemmage choisies peuvent être différenciées par leur situation topographique :

- Bas de pente : 18 arbres
- Haut de pente : 18 arbres
- Pente exposée à l'ouest : 18 arbres

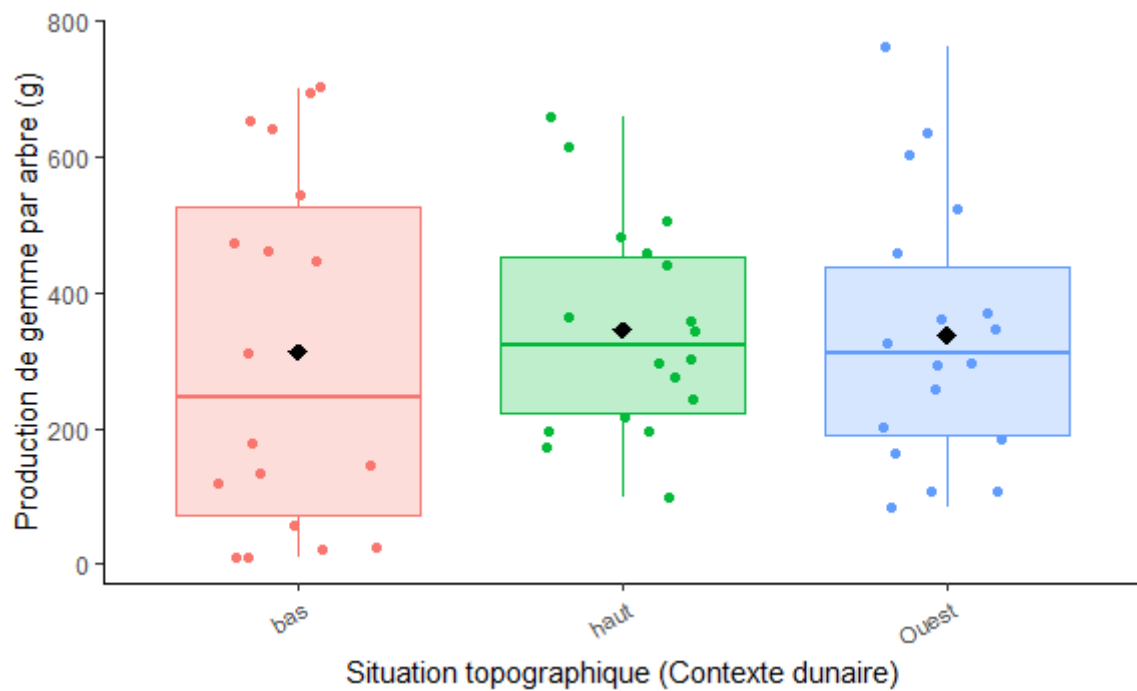


Figure 19 : Production de gemme par arbre en fonction de la situation topographique en contexte dunaire

Il ne semble pas exister de différence notable de production en gemme en fonction de la situation topographique en contexte dunaire.

1.1.2.1.2 Contexte de plateau

En contexte de plateau, les placettes de gemmage choisies peuvent être différenciées par type de lande :

- Lande sèche : 18 arbres
- Lande mésophile : 18 arbres
- Lande humide : 50 arbres

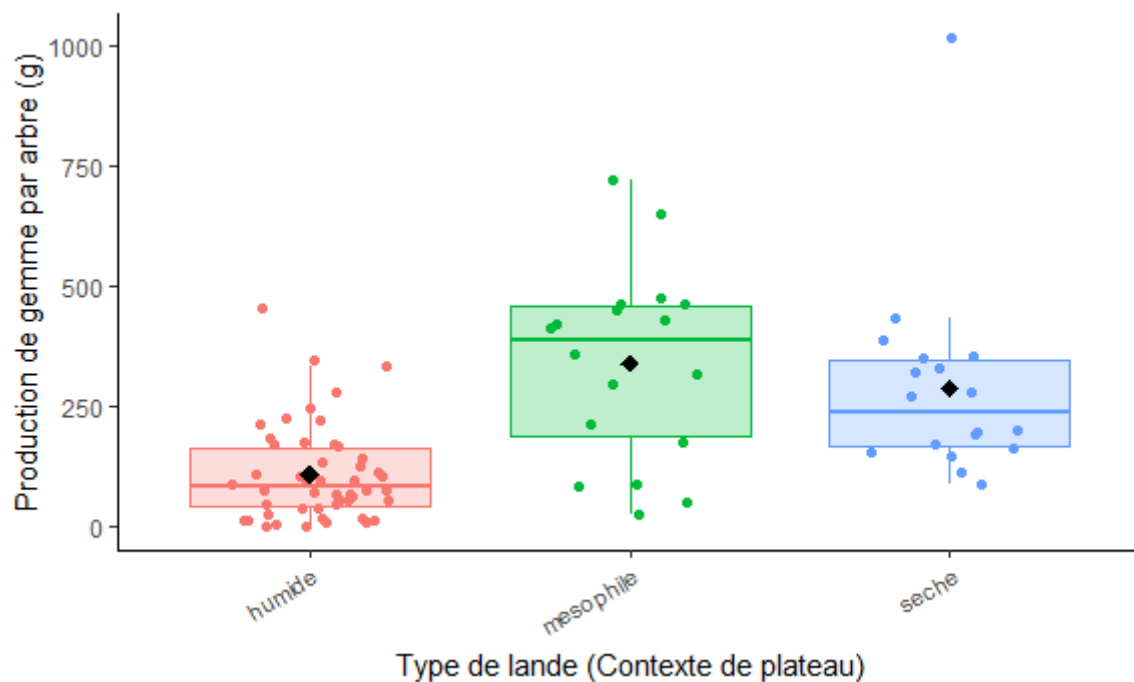


Figure 20 : Production de gemme par arbre en fonction du type de lande en contexte de plateau

On observe une meilleure productivité pour les arbres gemmés en lande mésophile, contexte également le plus favorable pour leur croissance. La moins bonne productivité a été observée en lande humide.

1.1.2.2 Axe nord-sud

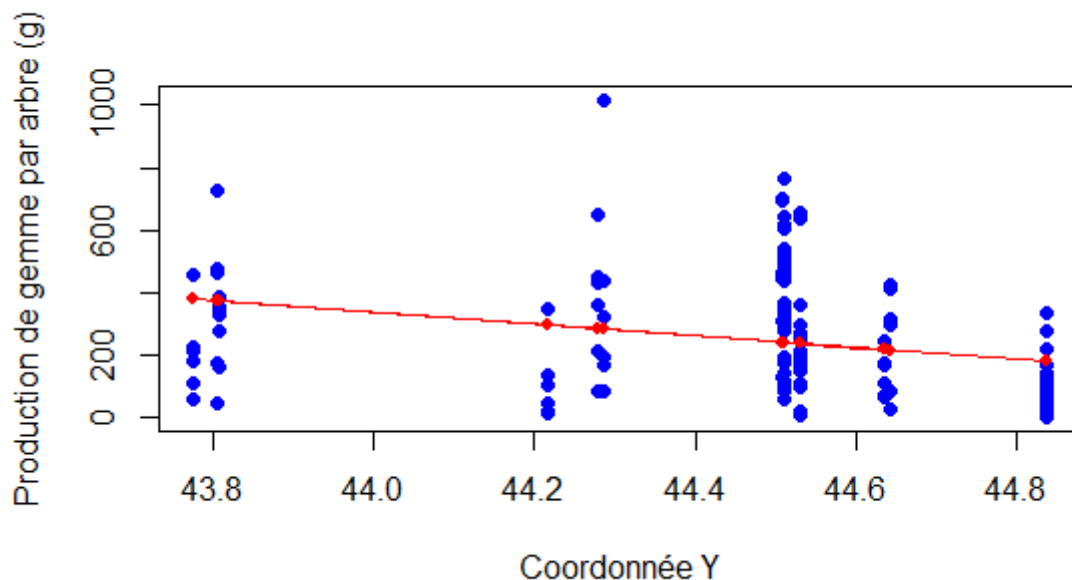


Figure 21 : Production de gemme par arbre en fonction de la coordonnée géographique Y

La coordonnée Y renseigne sur la situation géographique des arbres selon l'axe nord-sud. Plus la valeur de la coordonnée Y est faible, plus l'arbre échantillonné se trouve au sud. La productivité en

gemme semble plus élevée au sud du massif des landes. Il est probable que cette relation soit liée à la température moyenne, également plus élevée au sud.

1.1.2.3 Distance à l'océan

Les arbres gemmés peuvent être classés en fonction de leur distance à l'océan :

- Proches (< 3 km) : 36 arbres ;
- Moyennement éloignés ([4 ;5] km) : 18 arbres ;
- Eloignés (> 25 km) : 86 arbres.

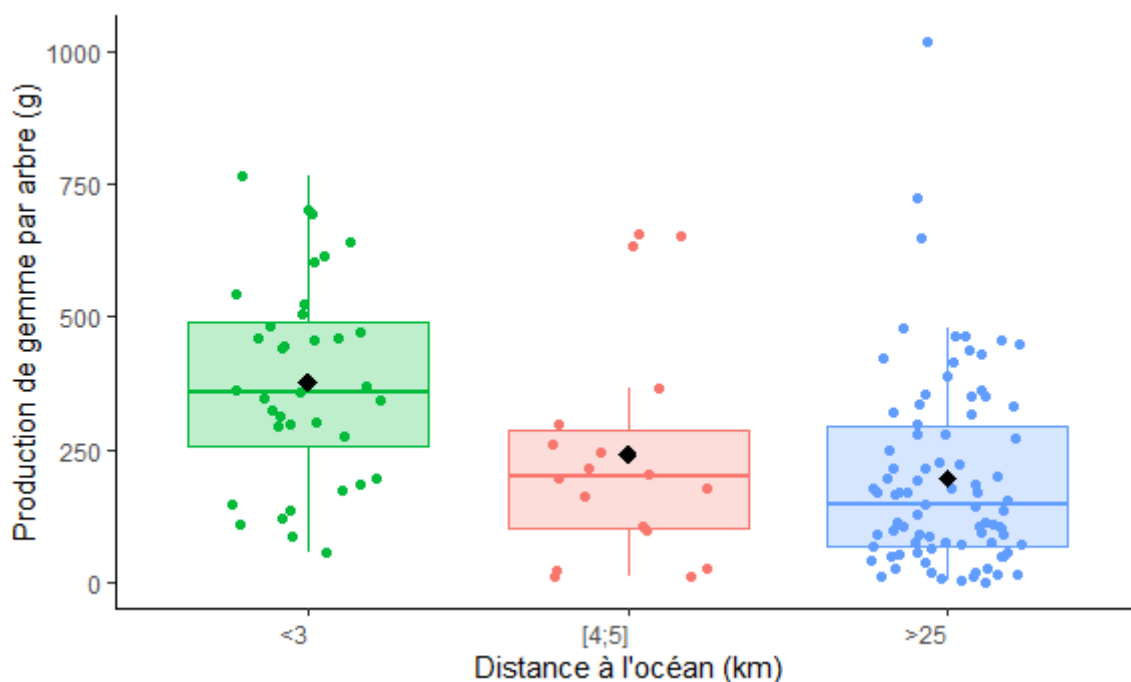


Figure 22 : Production de gemme par arbre en fonction de la distance à l'océan

Variable fortement corrélée au contexte stationnel (dune ou plateau), la distance à l'océan semble avoir une forte influence sur la productivité en gemme. Cet effet a également été relevé dans le recueil d'études de A. Oudin et par la société Holiste, première entreprise de gemmage en France.

1.1.3 Effet de l'amélioration génétique

Il a été constaté au Brésil qu'une corrélation génétique existe entre les caractères liés à la gemme et ceux liés au bois. Pour certaines variétés de pins, l'amélioration génétique pour la croissance en diamètre améliore également la productivité en gemme.

Cet effet a été testé dans cet essai avec le gemmage de variétés améliorées et non améliorées sur la parcelle 34-1 de forêt domaniale du C.A.E.P.E. gérée par l'Office National des Forêts. Cette parcelle présente la particularité d'avoir découpée en 70 placeaux puis plantée avec diverses variétés de pins améliorés VF2 et non améliorés. 16 arbres non améliorés et 16 autres améliorés ont été choisis sur ce dispositif, indépendamment de leur localisation :

- Variétés améliorées
 - Verge de Cabanac : 8 arbres
 - Lot CEMAGREF : 8 arbres
- Variétés non améliorées
 - VEC de Mimizan : 5 arbres

- VEC de Berdillan : 6 arbres
- VPD de Moulis : 5 arbres

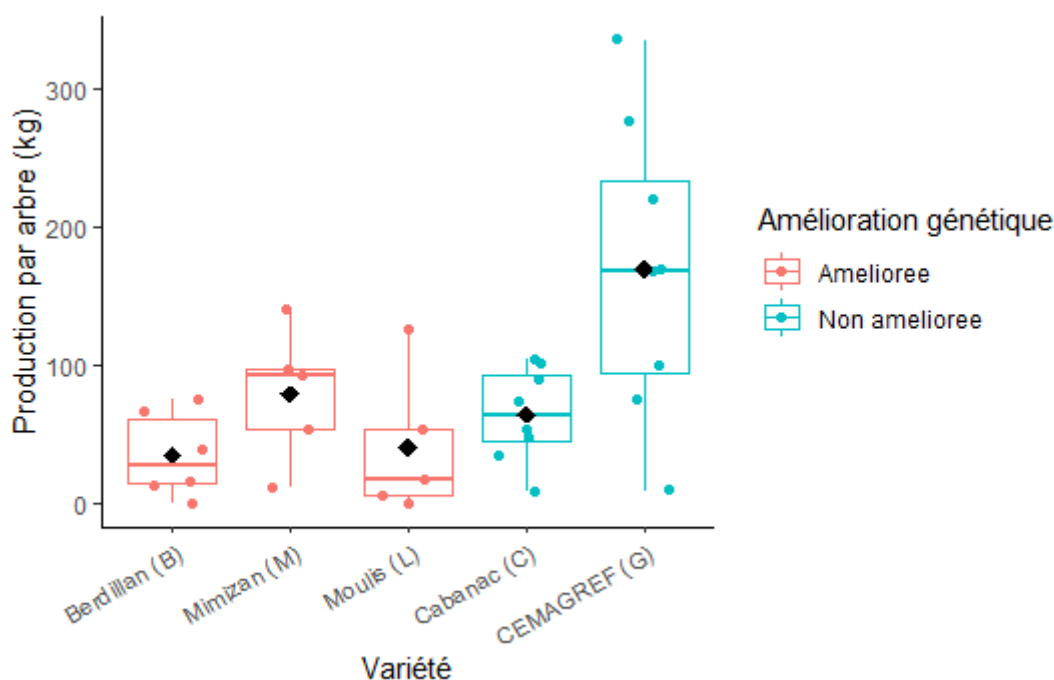


Figure 23 : Production de gomme par arbre en fonction de la variété en forêt domaniale du C.A.E.P.E.

L'amélioration générique des pins pour la vigueur et la forme ne semble pas améliorer en même temps la productivité en gomme. Au contraire, une production plus importante est notable pour la variété CEMAGREF, non améliorée. De plus, il a été constaté qu'une plus grande proportion d'arbres de la variété CEMAGREF sont penchés ou tombés, par rapport aux autres variétés.

Il est possible que la corrélation constatée entre la croissance en diamètre et la productivité en gomme chez d'autres espèces de pin, ne soit pas valide dans le cas du pin maritime.

Conclusion

Il existe peut d'informations concernant les facteurs de variation de la productivité en gomme dans la littérature française.

Bien que la composante génétique soit la plus importante dans la variabilité de la production de gomme, cette étude a montré que les facteurs environnementaux jouent également un rôle. Les pins n'étant actuellement pas sélectionnés génétiquement pour la production de gomme en Europe, les paramètres dendrométriques et stationnels constituent d'importants critères de choix des peuplements à gemmer.

L'analyse descriptive laisse des résultats penser qu'il est préférable de gemmer les arbres en contexte dunaire, au plus proche de la côte et le situés le plus au sud du massif. Si le gemmage est pratiqué sur le plateau, les stations mésophiles peuvent être privilégiées. Les arbres les plus productifs sont les plus âgés, présentant un diamètre important et un houppier bien développé dans des peuplements peu denses. D'autres essais sont nécessaires pour déterminer l'incidence de l'amélioration génétique pour la production de bois sur la productivité en gomme mais il semble exister un effet notable de la variété.

Toutes ces suppositions doivent être vérifiées statistiquement avant d'être affirmées. Selon les résultats des analyses statistiques obtenus, la réalisation d'une carte de la productivité en gemme sur le massif des Landes peut être envisagée. L'inclusion de variables d'intérêt non corrélées entre elles dans un modèle linéaire mixte permettrait de connaître l'importance relative de celles-ci.

Glossaire

Activation : Application d'une solution sur une care afin de freiner la cicatrisation des tissus et ainsi provoquer une accumulation d'oléorésine au niveau du cambium. L'acide sulfurique est l'activant le plus utilisé. *Synonyme : stimulation. Anglais : stimulation. Espagnol : estimulación.*

Arbre codominant : Arbre dont le houppier appartient au niveau général du couvert forestier. *Anglais : codominant tree. Espagnol : árbol codominante.*

Arbre dominé : Arbre dont le houppier est entièrement situé sous le niveau général du couvert forestier. *Anglais : suppressed tree. Espagnol : árbol dominado.*

Arbre dominant : Arbre dont la cime dépasse de façon visible le niveau général du couvert forestier. *Anglais : dominant tree. Espagnol : árbol dominante.*

Barras : Résine séchée sur la care pendant une saison de gemmage. Cette résine solide est récupérée avec barrasquit lors du barrasquage. Le terme français Barras était utilisé lors du gemmage avec la méthode Hugues.

Care : La care est le nom donné dans les Landes de Gascogne à une entaille faite au tronc du pin maritime pour en extraire la résine lors du gemmage. *Anglais : notch. Espagnol : cara.*

Étéphon : Éthylène de synthèse utilisé pour accélérer la croissance et la coloration de beaucoup de fruits et légumes. *Synonymes : Ethrel (commercialisé par Bayer). Anglais : Ethephon. Espagnol : Etefón.*

Gemmage : Opération qui consiste à inciser le tronc d'un pin pour en recueillir la résine. *Synonymes : amasse (Landes), résinage. Anglais : pine tapping, resin extraction. Espagnol : resinación.*

Gemmage en vase clos : Le gemmage en vase clos consiste à recueillir la gemme dans un récipient hermétique. Cela a pour effet de limiter les impuretés et d'augmenter le taux de térébenthine contenu dans la gemme. *Anglais : tapping in a closed environment. Espagnol : Resinación en vaso cerrado.*

Bibliographie

Alan W. Hodges, J. D. (1997). Borehole Oleoresin Production from Slash Pine. *SJAF* 21(3), pp. 108-115.

Bussy, J.-C. (1971, mars). La gemme et les produits résineux en France. *Revue Forestière Française*, XXIII, pp. 377-384.

Lerat, S. (1960). *Le gemmage et l'industrie de la gemme dans les Landes*. Sud-Ouest européen: Revue géographique des Pyrénées et du Sud-ouest. Récupéré sur https://www.persee.fr/doc/rgpso_0035-3221_1960_num_31_4_1589

Oudin, A. (1938). *Etudes sur le gemmage des pins en France*. Station de recherches et expériences forestières. Nancy-Paris-Strasbourg: Imprimerie Berger-Levrault.

Annexe 1 - Protocole expérimental

Projet SustForest+, Activité 1.14 – campagne été 2020

Objectif

Il s'agit d'une opération de gemmage en contexte expérimental coordonnée par Ricardo Alia (INIA), basée sur un protocole proposé par l'INIA (Nikos et al. 2002) et déjà mis en œuvre sur une partie du plateau castillan. Les objectifs principaux sont d'identifier les facteurs de variation de la productivité en gemme en Aquitaine et d'ajuster un modèle de prédiction de la productivité en Europe. Ce protocole est différent de ceux appliqués par les partenaires du projet en Espagne et au Portugal en raison de la différence des peuplements, et notamment de leur croissance. Néanmoins, les approches se veulent être comparables.

Echantillon

Choix des placettes

Les placettes sont choisies pour refléter la plus grande diversité de situations possibles sur le massif des Landes. Les modalités permettant de différencier les zones d'échantillonnage sont différentes en zone dunaire et sur le plateau. Les modalités prise en compte sont les suivantes :

- En zone dunaire :
 - Distance à l'océan
 - Topographie (bas de pente, pente exposée à l'ouest, haut de pente)
- Sur le plateau :
 - Type de lande (sèche, mésophile, humide)
 - Génétique (variété améliorée, variété non améliorée)

Les différentes modalités considérées ainsi que le nombre d'arbres gemmés par modalité sont détaillées en annexe 1. L'intensité d'échantillonnage a été choisie pour limiter le coefficient de variation de la production de résine à 15 % pour chaque groupe d'individus. Au total, 90 arbres sont gemmés sur 15 placettes différentes. Les placettes sont choisies pour être homogènes en diamètre et en densité.

Choix des arbres

5 arbres voisins sont sélectionnés par placette pour être représentatifs du peuplement selon leur diamètre et leur espacement.

Méthode

La préparation et l'organisation des essais sont réalisés par le CNPF en collaboration avec l'IEFC et la mise en œuvre du protocole d'essai est assurée par l'IEFC.

Période

L'évaluation est effectuée pendant une seule campagne de gemmage en juillet-août 2020. La période de gemmage dure 30 jours, encadrée par les opérations de pose et de collecte des poches. Le gemmage et la collecte pour chaque placette peuvent être décalés dans le temps mais il est indispensable de conserver 30 jours entre la pose d'un sac et son retrait.

Le temps de travail estimé pour le gemmage est d'une semaine de travail pour un seul opérateur. Une autre semaine de travail est nécessaire pour l'opération de ramassage des sacs.

Mise en œuvre

2 phases de travail sur le terrain se succèdent, espacées de 21 jours.

1^{ère} phase de terrain

Durant la première phase, les poches de collecte sont posées.

Réalisation des piques

La technique de gemmage choisie pour la définition du modèle de production correspond à la méthode Borehole. Cette méthode a été choisie pour sa rapidité d'exécution et sa reproductibilité.

Un trou de 16 mm de diamètre et de 12 cm de profondeur est réalisé avec une perceuse sur l'arbre, à 50 cm du sol, suivant l'axe radial. L'angle de perçage doit être adapté à la courbure de l'arbre pour suivre la direction radiale. Le trou est fait sur la face la plus au nord. Le choix de cette hauteur permet de limiter les dommages causés à l'arbre et donc la dévaluation du bois.

Application d'activant

La même quantité de stimulant est appliquée sur chaque arbre en remplissant intégralement les trous de pâte. Une pâte constituée d'acide sulfurique, d'éthéphon et d'argile a été sélectionnée pour la stimulation par l'université de Madrid et produite par Resinas Naturales.

Pose du système de collecte

Des raccords de jonction goutte à goutte 16x16mm sont utilisés pour permettre l'écoulement de la résine dans des sacs en plastiques transparents.



Figure 24 : Raccord de jonction goutte à goutte 16x16mm

La poche de collecte est maintenue au raccord avec un collier de serrage.



Figure 25 : Collier de serrage



Figure 26 : Système de collecte installé sur un arbre, après la phase d'écoulement de la gomme

Les poches de collecte sont ensuite identifiées par un numéro associé à chaque arbre.

La placette est identifiée en relevant les coordonnées GPS en son centre.

2^{de} phase de terrain

Durant la seconde phase, les poches de collecte sont ramassées et les données sont recueillies

Ramassage des poches

Les poches sont ramassées puis les cares sont partiellement rebouchées naturellement avec la résine écoulée. Un complément est apporté avec du mastic.

La résine recueillie est conservée pour de futures analyses chimiques.

Collecte de données

Les données recueillies sont détaillées en partie 6 de ce protocole. La liste du matériel nécessaire pour la collecte est détaillée en annexe 2.

Données recueillies

Données sylvicoles

- Densité (Nb tiges/ha) : La densité est calculée par la mesure de la distance entre arbres de la placette et de ces arbres avec les tiges alentours. Ces distances sont mesurées avec un télémètre.
- Hauteur à la cime (m) : La hauteur est mesurée du pied de l'arbre à la cime avec un télémètre.
- Hauteur à la base du houppier (m) : La hauteur est mesurée du pied de l'arbre à la base du houppier avec un télémètre. Cette base est définie par le point d'insertion de la première branche vivante la plus basse, issue du tronc et contribuant fortement au façonnement du houppier.
- Diamètre moyen du houppier (m) : Le diamètre moyen du houppier est calculé par projection horizontale de deux diamètres orthogonaux. Le diamètre du houppier est estimé en positionnant deux repères physiques (piquets) au sol avec un Kronenspiegel puis en mesurant la distance qui les sépare.
 - 1^{ère} mesure (m) : La mesure est faite selon n'importe quelle orientation ;
 - 2^{de} mesure (m) : La seconde mesure est orthogonale à la première.
- Circonférence de l'arbre à 1,30 m (cm) : La circonférence de l'arbre est mesurée avec un mètre ruban.
- Âge de l'arbre (années) : L'âge de l'arbre est obtenu en comptant les cernes d'une carotte extraite avec une tarière de Pressler.
- Statut social de l'arbre (dominant, codominant, dominé) : Le statut est donné en fonction de la hauteur de l'arbre par rapport aux arbres environnant.

Données concernant la gemme

La seule variable relevée est celle de la quantité de résine (kg). Le poids de la poche est relevé après la collecte de l'ensemble des poches avec une balance.

Données climatiques

Aucune variable n'est recueillie sur le terrain. Le climat sera caractérisé par la suite en récupérant les informations du site [infoclimat](#), mettant à disposition les données de nombreuses stations météorologiques. Il est ainsi possible d'obtenir de nombreuses données journalières telles que la température maximale, minimale, les précipitations, l'humidité, le point de rosée, la pression ou encore la vitesse de rafale maximale.

Données stationnelles

L'INIA interprétera les données issues de satellites européens de télédétection pour estimer les stations en fonction du type de peuplement et des cours d'eau.

La présence d'alias (oui/non) est relevée en enfonçant un fer à béton à la masse dans le sol. L'alias se forme généralement à moins de 1,2 mètre de profondeur.

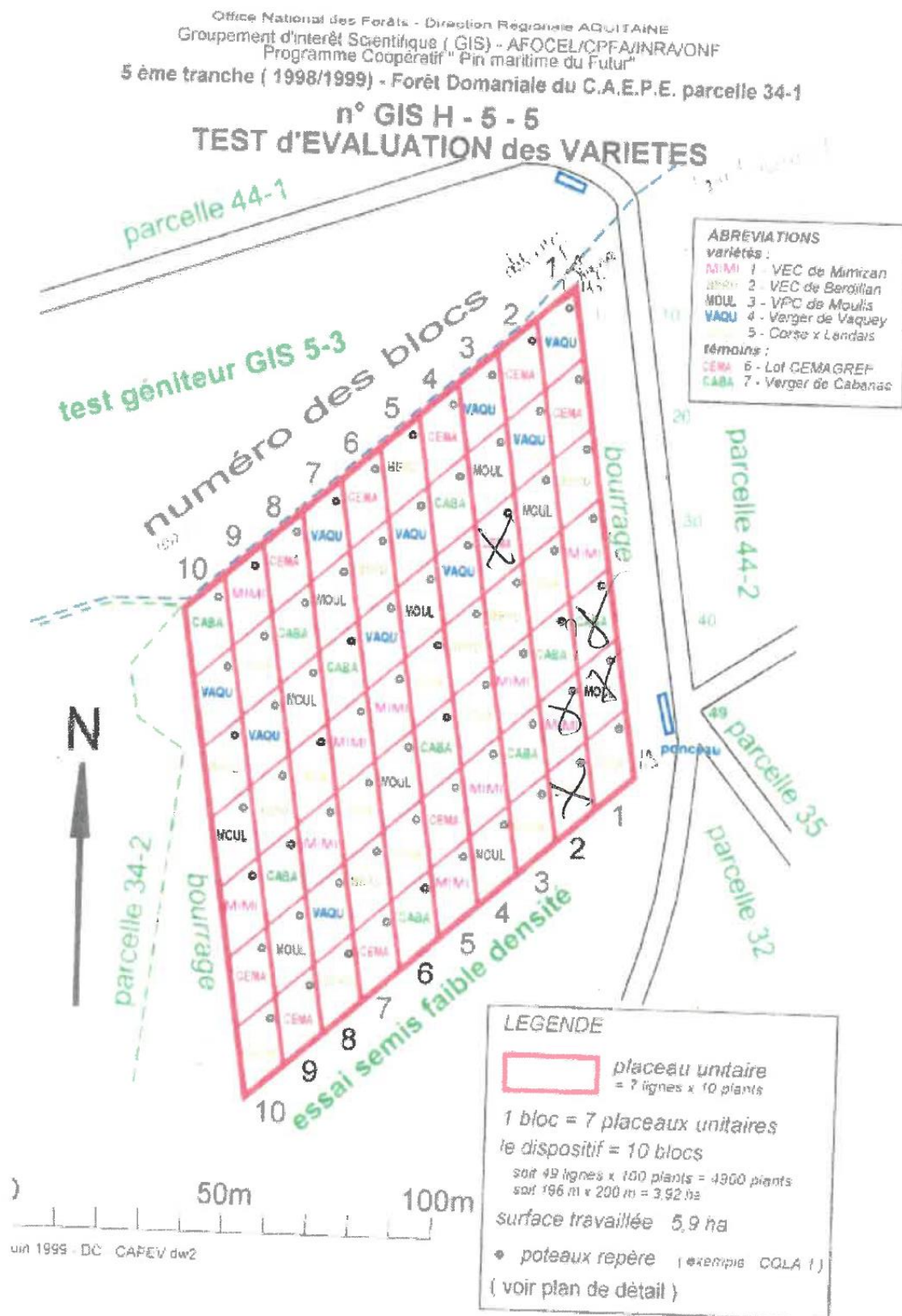
La profondeur de l'alias (cm) est mesurée selon l'enfoncement de la tige de fer si l'alias est présent.

La profondeur de l'horizon A du sol (cm) est mesurée après avoir fait un trou pour l'atteindre à la pioche.

Données concernant les placettes

Les coordonnées GPS sont relevées au centre de chaque placette avec un smartphone.

Annexe 2 - Carte des arbres gemmés sur la parcelle 34-1 de la forêt domaniale du C.A.E.P.E.



Annexe 3 - Cartes des placettes gemmées

Placette en gemmage sur la commune de Casteljaloux



Placette en gemmage sur la commune de Casteljaloux



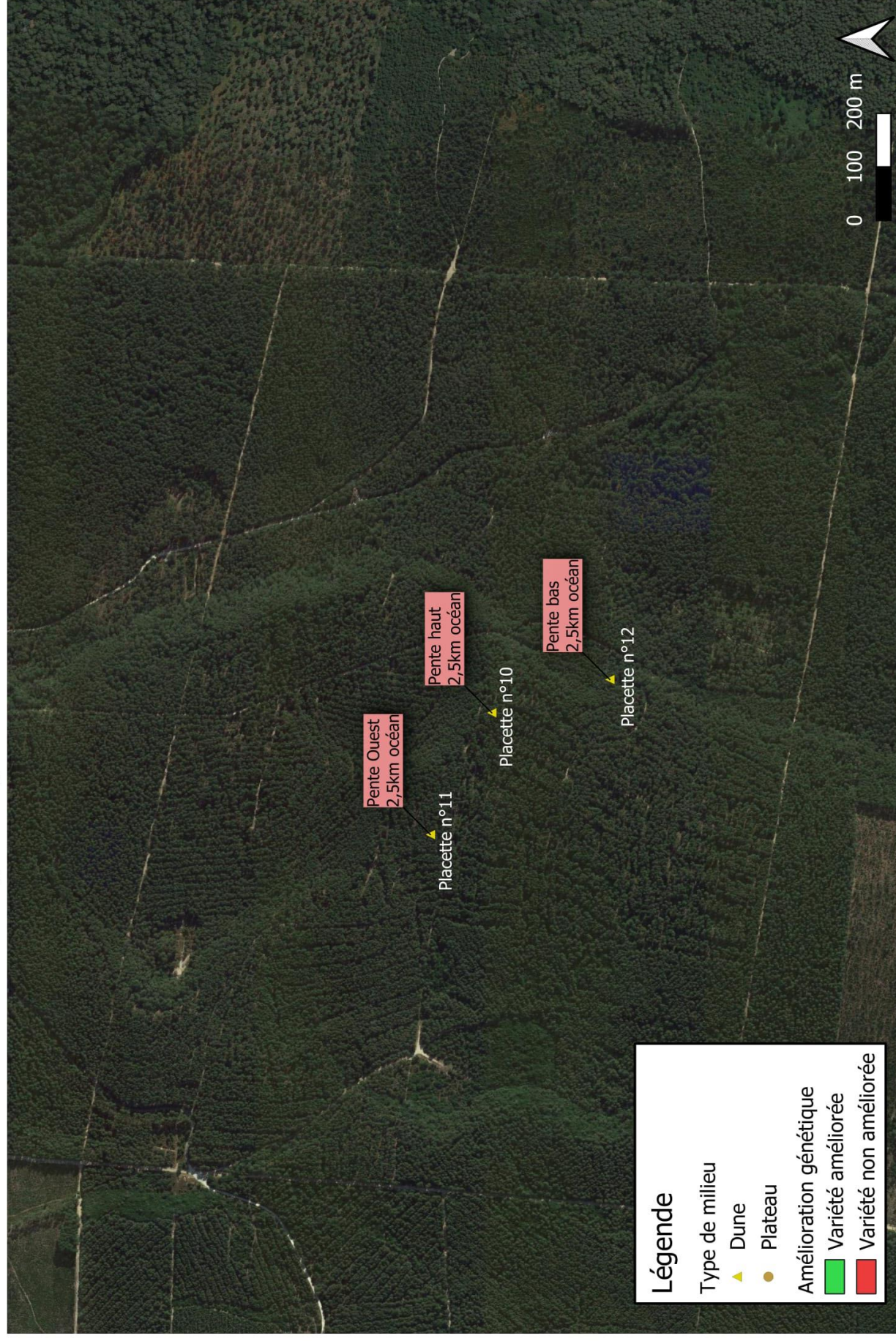
Placette en gemmage sur la commune de Casteljaloux



Placettes en gemmage sur la commune de La Teste-de-Buch



Placettes en gemmage sur la commune de La Teste-de-Buch



Placettes en gemmage sur la commune de La Teste-de-Buch



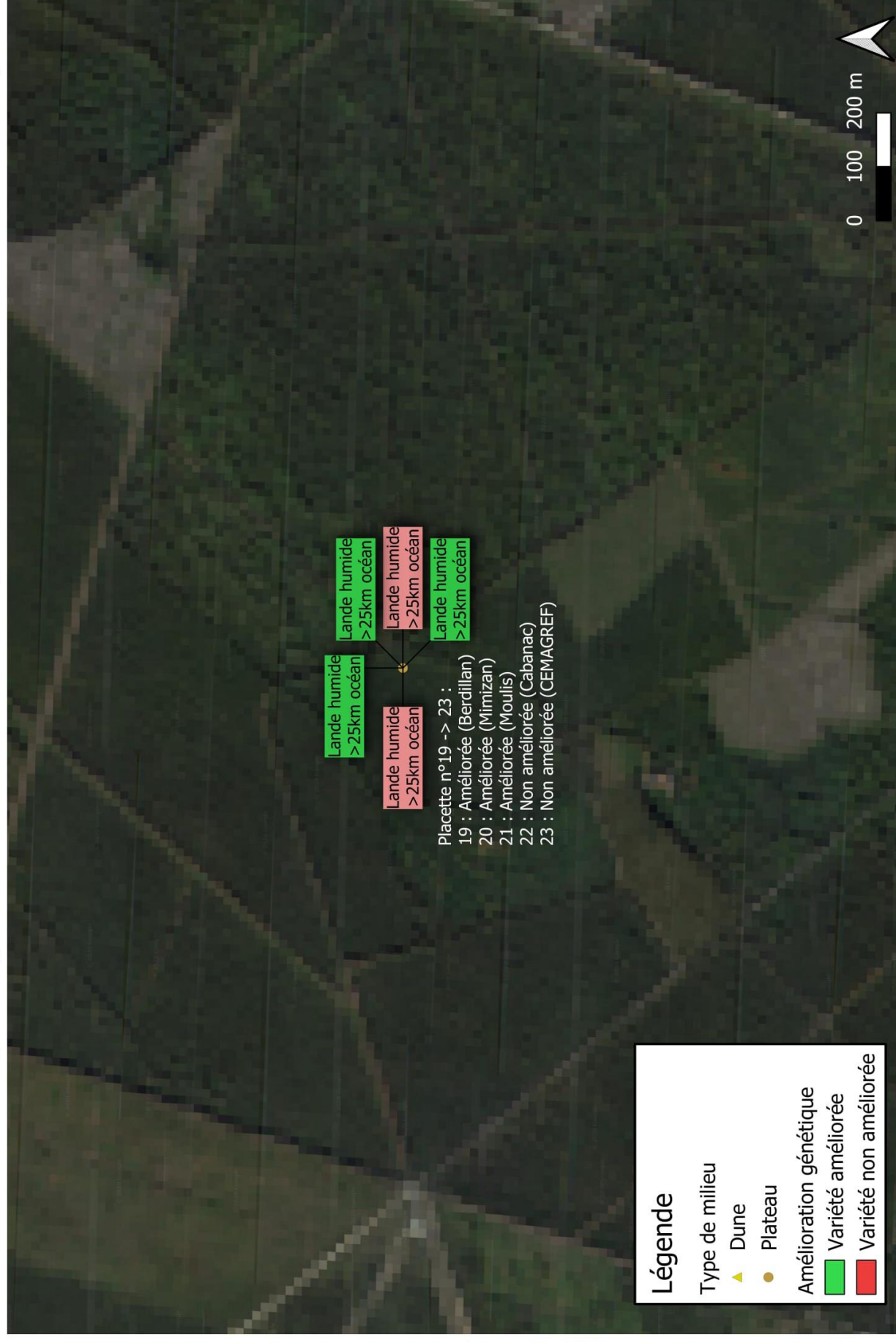
Placette en gemmage sur la commune de Mios



Placette en gemmage sur la commune de Mios



Placettes en gemmage sur la commune de Martignas-sur-Jalles (terrain militaire flouté)



Placette en gemmage sur la commune de Salles



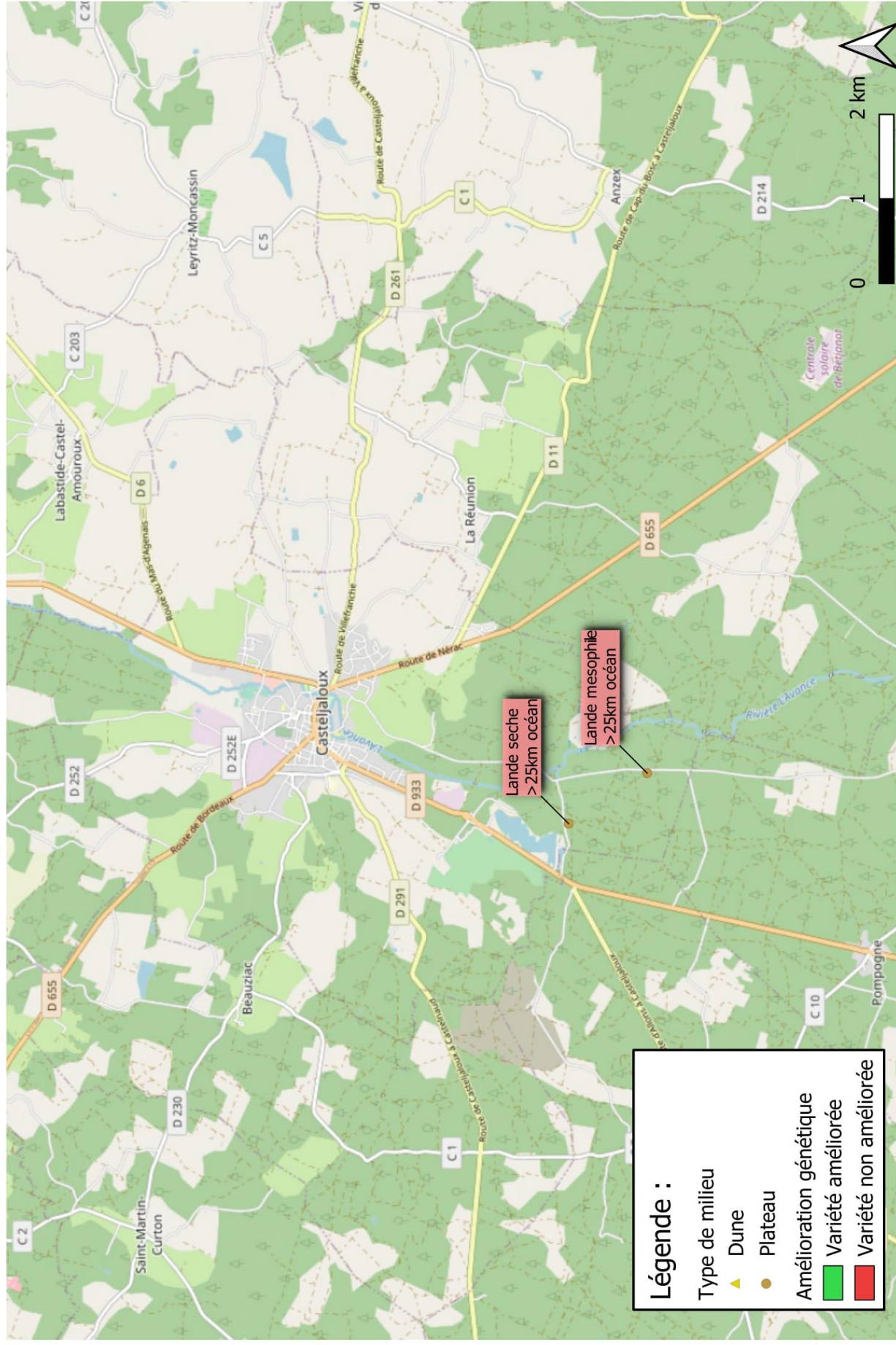
Placettes en gemmage sur la commune de Saint-Vincent-de-Paul



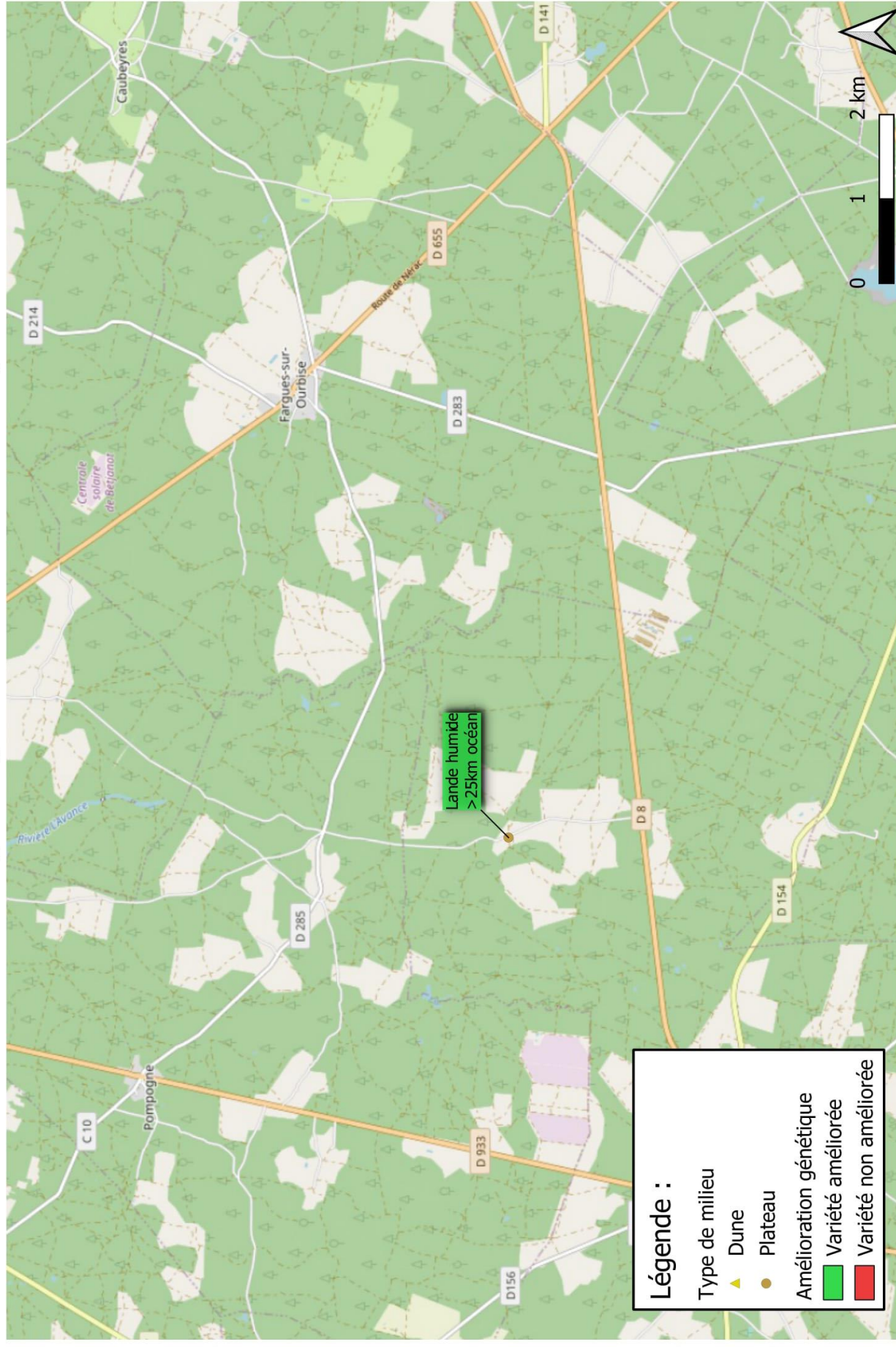
Placette en gemmage sur la commune de Saint-Vincent-de-Paul



Placettes en gemmage sur la commune de Casteljaloux



Placette en gemmage sur la commune de Casteljaloux



Légende :

Type de milieu

- ▲ Dune
- Plateau

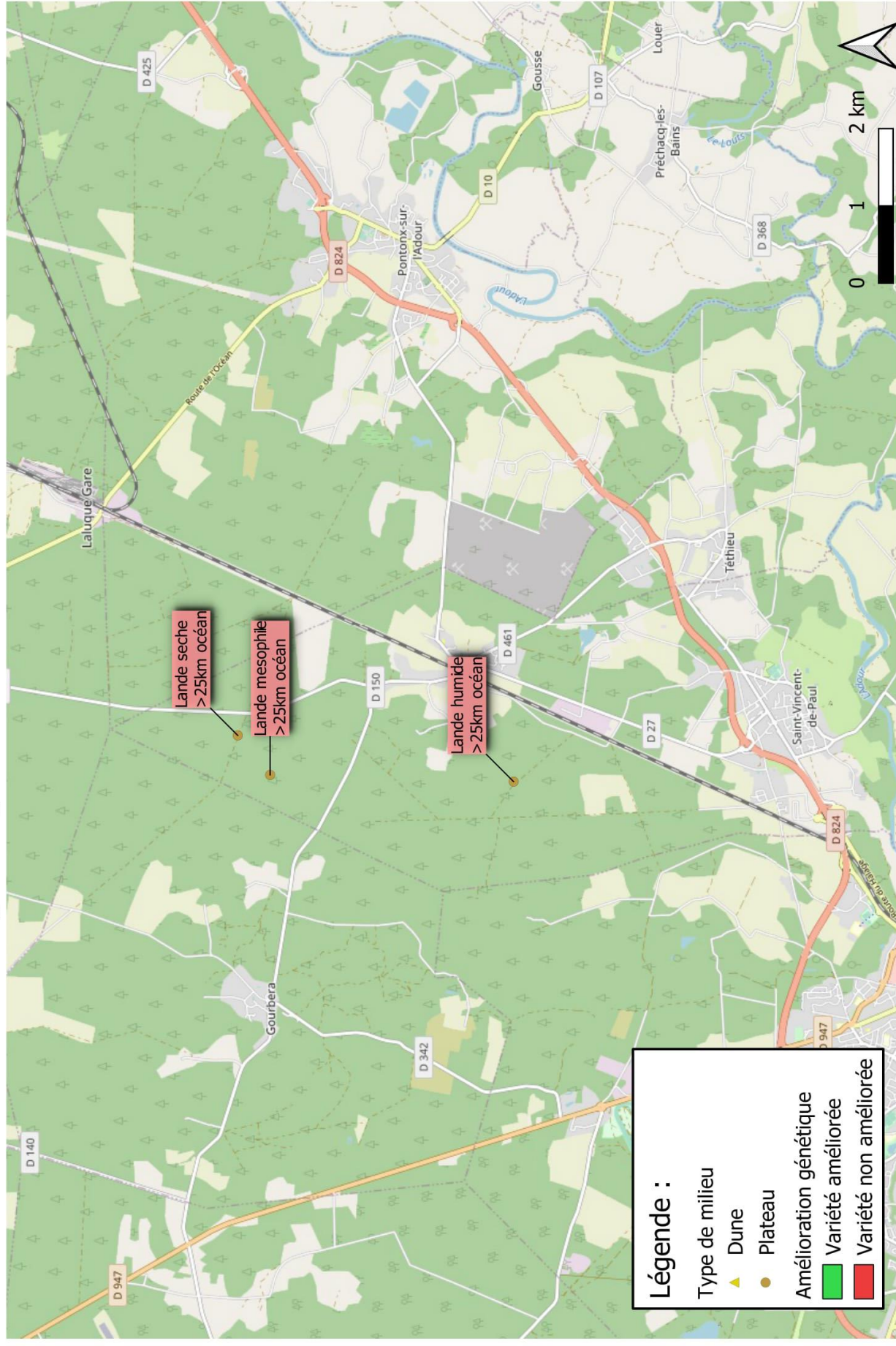
Amélioration génétique

- Variété améliorée
- Variété non améliorée

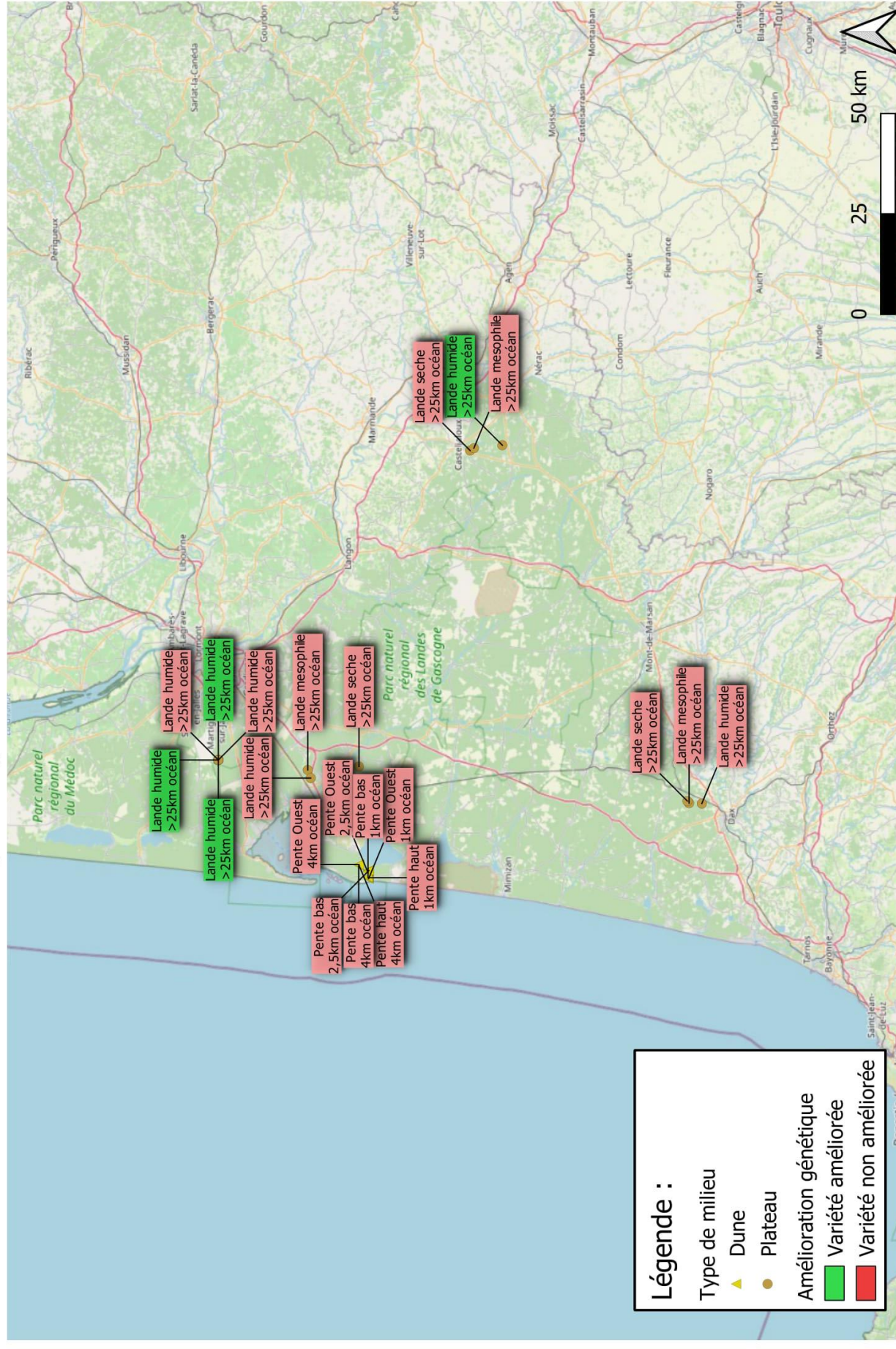
Légende :

- Type de milieu
 - ▲ Dune
 - Plateau
- Amélioration génétique
 - Variété améliorée
 - Variété non améliorée

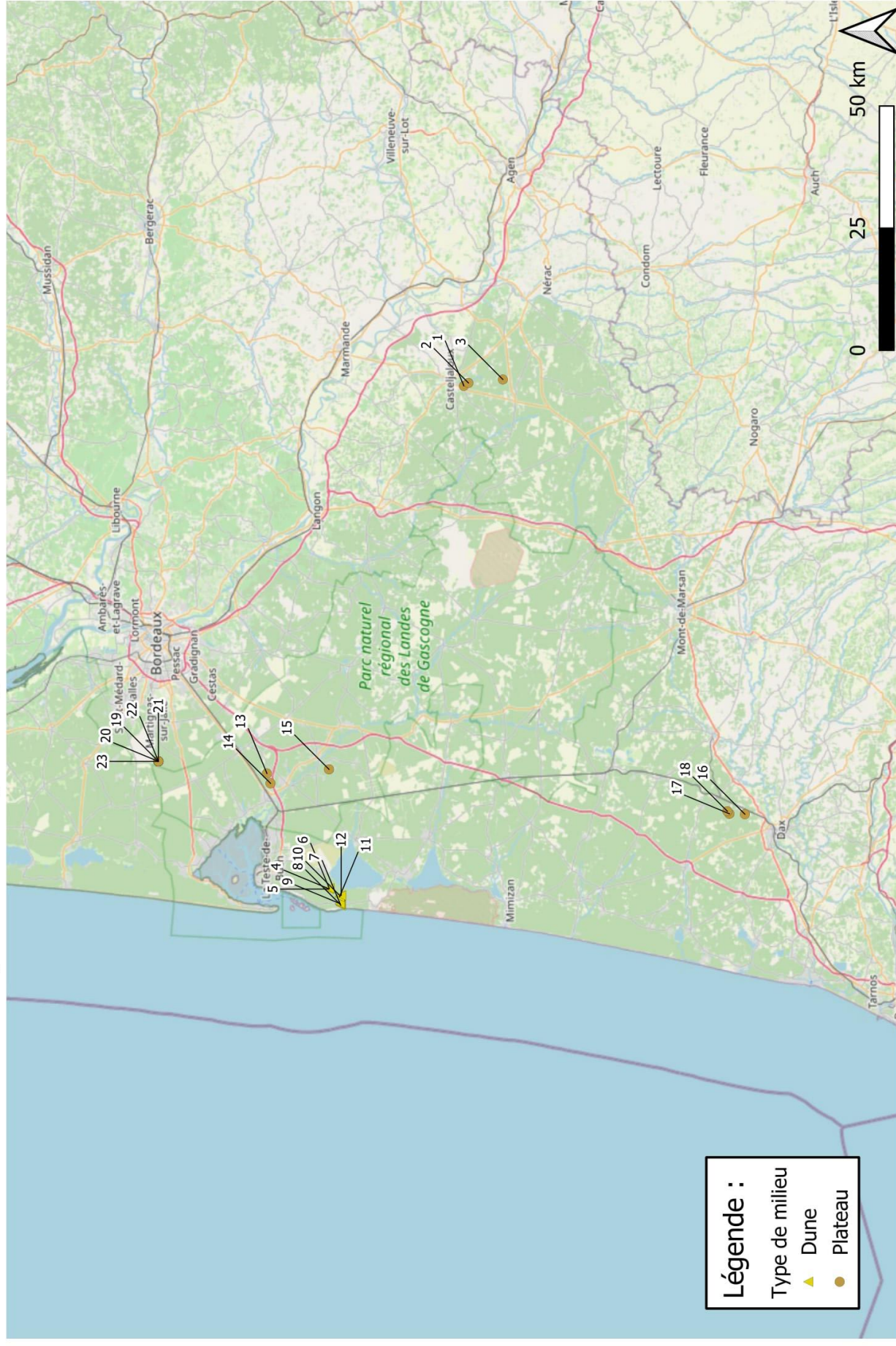
Placettes en gemmage sur la commune de Saint-Vincent-de-Paul



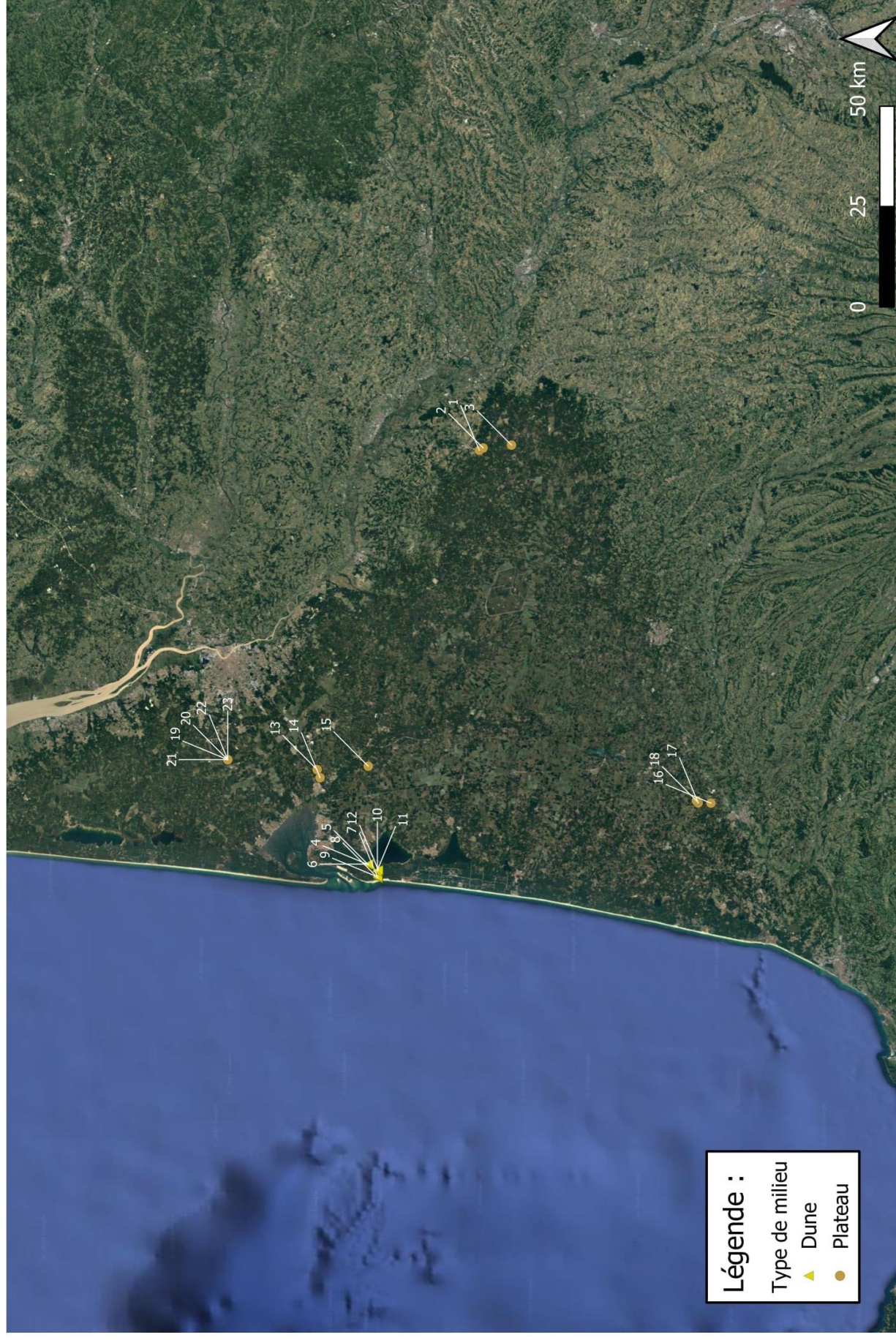
Placettes en gemmage au sein du massif forestier landais



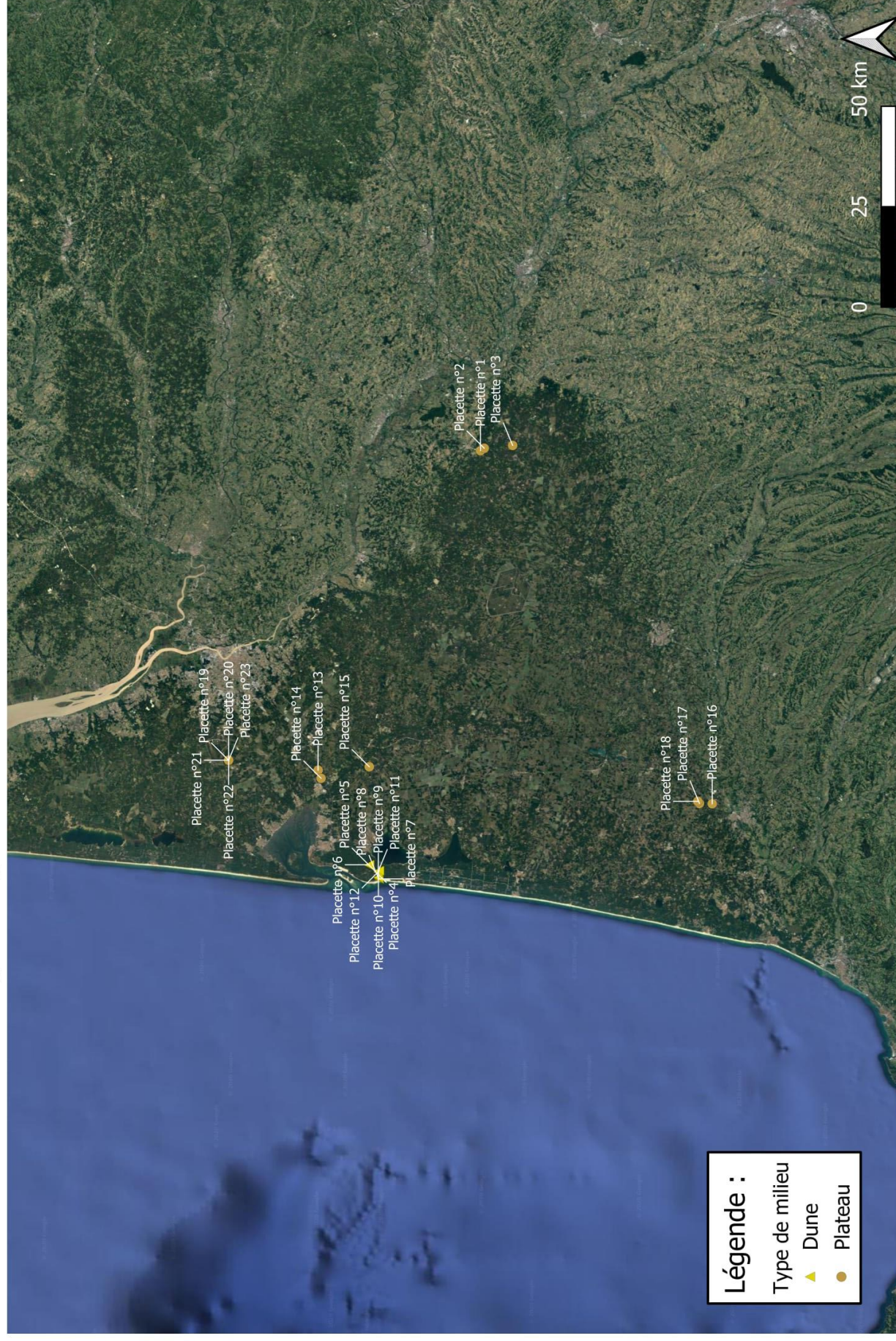
Numéros des placettes en gemmage au sein du massif forestier landais



Numéros des placettes en gemmage au sein du massif forestier landais - vue satellite



Placettes en gemmage au sein du massif forestier landais - vue satellite



Annexe 4 - Localisation des placettes gemmées

Placette	Propriété	Ville	Coordonnée X	Coordonnée Y
1	Privée	Casteljaloux	0,07198	44,28721
2	Privée	Casteljaloux	0,07946	44,27887
3	Privée	Casteljaloux	0,08822	44,21639
4	Privée, forêt usagère	La Teste-de-Buch	-1,200664	44,531544
5	Privée, forêt usagère	La Teste-de-Buch	-1,201606	44,530882
6	Privée, forêt usagère	La Teste-de-Buch	-1,199506	44,530563
7	Domaniale	La Teste-de-Buch	-1,242782	44,509809
8	Domaniale	La Teste-de-Buch	-1,239934	44,511193
9	Domaniale	La Teste-de-Buch	-1,238395	44,511138
10	Domaniale	La Teste-de-Buch	-1,218699	44,510988
11	Domaniale	La Teste-de-Buch	-1,22156	44,512015
12	Domaniale	La Teste-de-Buch	-1,217918	44,509011
13	Privée	Mios	-0,909134	44,642907
14	Privée	Mios	-0,93394	44,63646
15	Privée	Salles	-0,898602	44,531005
16	Communale	Saint-Vincent-de-Paul	-1,01211	43,77576
17	Communale	Saint-Vincent-de-Paul	-1,00469	43,80775
18	Communale	Saint-Vincent-de-Paul	-1,01103	43,804
19	Militaire	Martignas-sur-Jalle (CAEPE)	-0,87847	44,83795
20	Militaire	Martignas-sur-Jalle (CAEPE)	-0,87847	44,83795
21	Militaire	Martignas-sur-Jalle (CAEPE)	-0,87847	44,83795
22	Militaire	Martignas-sur-Jalle (CAEPE)	-0,87847	44,83795
23	Militaire	Martignas-sur-Jalle (CAEPE)	-0,87847	44,83795

Interreg Sudoe



European Regional Development Fund

Produto 1.3 Modelos de produção de resina

Atividade 1.15 Ensaios para ajustamento do modelo de produção em Portugal

Entregável 1.15.1

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CAMPO PARA AJUSTAMENTO DO MODELO DE PRODUÇÃO EM PORTUGAL

1. INTRODUÇÃO

O ensaio para obtenção de dados para o modelo de produção de resina em Portugal teve lugar na região de Ourém, segundo a metodologia proposta pelo INIA Madrid, desenvolvida para o projeto SustForest Plus.

Na figura 1. indica-se a localização da região onde foram instaladas as parcelas para o teste português do método *standard* de resinagem. Foram resinadas árvores em 6 parcelas de 10 árvores cada uma. As parcelas encontram-se georreferenciadas.

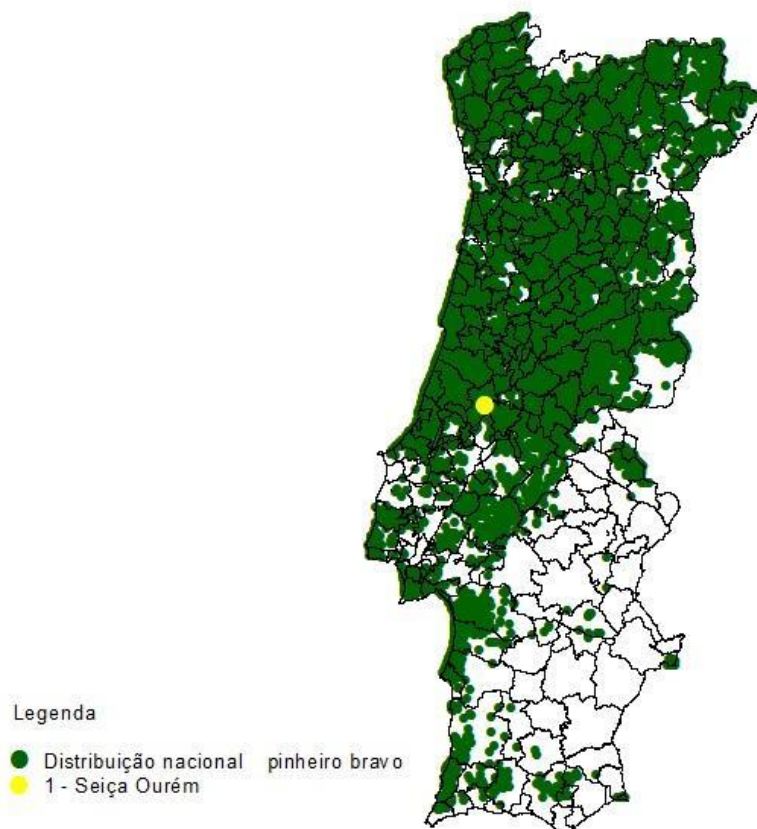


Figura 1 – Localização dos ensaios para ajustamento do modelo de produção de resina em Portugal

2. LIMITAÇÕES E CONDICIONANTES

Em Portugal não foi possível utilizar a mesma pasta química utilizada em Espanha e França, devido às restrições de circulação de pessoas e bens impostas pela pandemia da covid 19. A pasta utilizada foi a pasta tradicional usada pelos resineiros, e tinha na sua composição ácido sulfúrico (40% do seu teor).

3. RESULTADOS

As feridas para obtenção de resina pelo método adotado para os ensaios no espaço Sudoe foram feitas nos dias 20 e 21 de agosto de 2020. As pesagens da resina recolhida tiveram lugar passados 15 dias. Os valores obtidos, em gramas, indicam-se na tabela 1. De uma forma geral estes valores parecem-nos muito baixos. A explicação que encontramos para o facto são as condições meteorológicas pouco habituais em agosto, que se faziam sentir no dia da “renova”: baixa temperatura e chuva pouco intensa, persistente.

Campanha	nº de arvores	Média (g)	desvio padrão	mínimo	Máximo
2020:					
Ourém	60	171	162	5	860

Tabela 1 - Produção de resina (g) em ensaio *standard* (região de Ourém)

4. NOTA FINAL

Quando se realizou este ensaio existia a possibilidade de repetição do mesmo caso fossem abolidas as restrições quanto a transporte e envio de materiais, nomeadamente substâncias químicas entre Portugal e Espanha, em tempo útil. O local de ensaio deveria ter sido escolhido na zona centro litoral, que

registra até hoje maior produção de resina no país e maior número de operadores de resina inscritos no sistema SiResin, do ICNF, Portugal.

Não foi possível realizar os ensaios em outros pontos do país nem obter a pasta química utilizada em Espanha e França. A sua realização estava dependente de encontrar povoamentos disponíveis e da obtenção da pasta química, não havendo nem meios materiais nem técnicos para produzi-la localmente. Relativamente ao método utilizado (furo com broca a 60cm do solo) o mesmo dificulta a cedência de árvores para resinar, uma vez que o toro da base é danificado com o furo.

Proyecto Sust Forest Plus

“Estrategia y redes de colaboración para la multifuncionalidad, la conservación y el empleo en el territorio del sur de Europa a través de la extracción de la resina”



Producto 1.3-Modelos de producción de resina

Actividad 1.16. Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales



Entregable 1.16.1- Guía para la aplicación del modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales

Autor/Responsable: INIA

Fecha entrega: 31/12/2020

Interreg
Sudoe

European Regional Development Fund



SOE2/P5/E0598
www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Índice

1. Introducción
2. Datos de partida
3. Cokrigado universal espacio temporal
4. Resultados
5. Resumen de resultados
6. Conclusiones
7. Recomendaciones
8. Bibliografía



1. Introducción

Este entregable se encuadra dentro del Producto 1.3, que incluye tres actividades y 3 entregables, de acuerdo a un plan de trabajo detallado en la descripción de la actividad 1.12. Complementa al modelo realizado en la región de Coca/Cuellar.

Producto 1.3 Modelos de producción de resina -INIA-(4/18 a 3/20-30/03/20)

Actividad 1.12-Definición de la metodología de ajuste del modelo de producción de resina para Pinus pinaster-INIA- (4/18 a 6/18)

Entregable 1.12.1- INIA (30/06/18)

Actividad 1.13-Ensayos para ajuste del modelo de producción de resina en comarcas resineras españolas-INIA (4/18 a 3/20)

Entregable 1.13.1-Informe de ensayos de campo para el ajuste de los modelos de producción en regiones resineras españolas-INIA (29/11/19)

Actividad 1.16-Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales -INIA- (4/18 a 4/20)

Entregable 1.16.1-Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales para el espacio SUDOE-INIA (30/04/20)

Entregable 1.16.2-Guía para la aplicación del modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales -INIA (30/04/20)

Modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales

Se trata de una herramienta para la gestión técnica de la Estrategia para el Aprovechamiento Sostenible de las Resinas Naturales Europeas esencial para la toma de decisiones.

El resultado tiene gran importancia desde el punto de vista de la estandarización y homologación de la evaluación de la producción forestal potencial en los tres países participantes en el proyecto. La metodología propuesta permitirá la extensión de esta homologación a toda la cuenca mediterránea.

El trabajo capitaliza y toma como punto de partida los modelos geoenfereciados existentes, mejorados durante el desarrollo de este proyecto. El ajuste de los modelos se realiza, mediante ensayos con una metodología común (actividad 1.12), que serán realizados por los diferentes socios del proyecto en los tres países (Actividades 1.13, 1.14 y 1.15), cuyos resultados se integrarán posteriormente por INIA como un sistema único para el espacio SUDOE (Actividad 1.1).

Los resultados se pondrán a disposición de los gestores de la Red Europea de Territorios Resineros, y de la comunidad forestal en general, mediante una guía de aplicación del modelo.

Estos modelos se capitalizan dentro del proyecto mediante la integración en un sistema para la generación de mapas de producción esperada (Producto 1.6) que servirá para la valoración estratégica de la rentabilidad de explotación bajo la silvicultura actual como herramienta para seleccionar zonas para resinación, y para descartar aquellas con baja producción que no aseguran la rentabilidad de las operaciones.

Lo que contribuirá a una mejor planificación temporal de la oferta de resina en el conjunto del territorio.

Este producto contribuye al objetivo específico de proyecto "Convertir las masas del sudodeste europeo en una fuente abundante y sostenible de resina a medio y largo plazo al permitir una mejor planificación espacio-temporal de la oferta de resina.

Actividad 1.16. Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales para el espacio SUDOE Fecha de inicio 4.2018 Fecha de fin 4.2020

Se pone a punto un modelo de predicción de la producción de resina a partir de un modelo geoestadístico existente para una parte de la meseta Castellana (Nikos et al. 2002), que toma como datos de entrada parámetros forestales y ambientales. Para ello se procede a la generalización y validación de dicho modelo a partir de datos de producción real existentes en el ámbito SUDOE. En las zonas en las que no se dispone de datos de producción real se realizará una estimación mediante ensayos de campo por métodos indirectos en la nueva red de parcelas permanentes para

la experimentación resinera creada con el presente proyecto. (Actividades 1.12, 1.13, 1.14 y 1.15) Tareas: 1. Recepción de datos de producción para validar el modelo aportados por los socios. 2. Propuesta de modelo mediante ampliación de modelo existente teniendo en cuenta las variables ambientales de los sitios de estudio. 3. Validación local del modelo mediante parcelas de campo. 4. Redacción de guía de aplicación del modelo dirigida a técnicos y gestores Ejecuta: INIA Colaboran: CNPF e INIAV.

2. Modelo de producción de resina en la zona de Coca /Cuellar

El entregable 1.16.1 incluyen los modelos estimados para la producción de resina en la zona de Coca /Cuellar.

Entre todos los modelos testados seleccionamos el que utiliza como covariable la resina obtenida mediante taladro y como variables auxiliares las reflectancias correspondientes al verde, rojo e infrarrojo medio de las imágenes Landsat. Este modelo, por tanto, es susceptible de mejorarse cuando incluyamos más información sobre otras parcelas evaluadas en la zona, y también, son fáciles de obtener las covariables a través de la imágenes Landsat, lo que permitirá actualizar fácilmente la información.

El modelo se incluye en la figura 1, y las varianzas de las estimaciones en la figura 2.

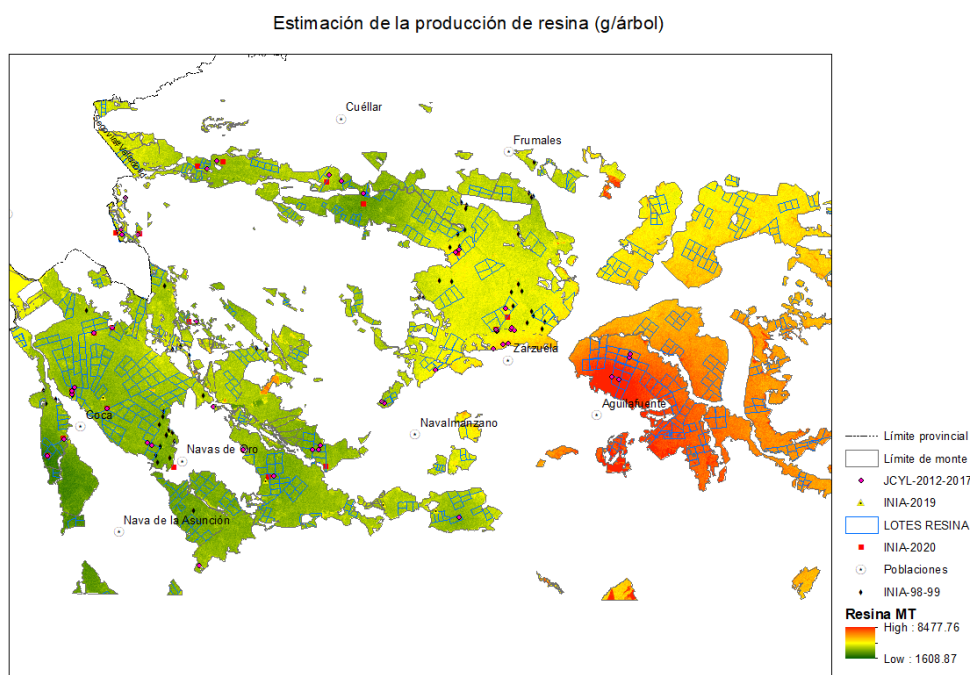


Figura 1: Predicción de resina mt mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladro y como variables auxiliares las reflectancias correspondientes al verde, rojo e infrarrojo medio de las imágenes Landsat.

Varianza de la estimación de resina mt

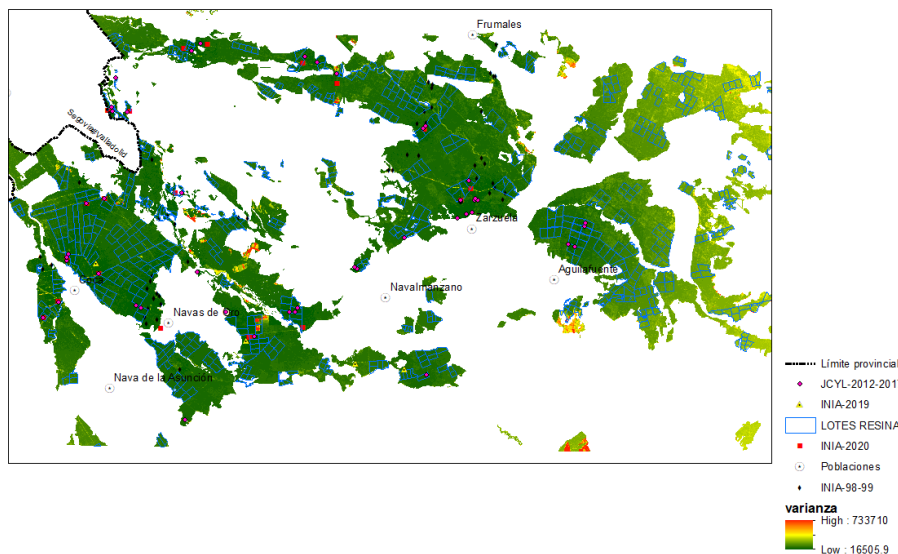


Figura 2: Varianza de la predicción de resina obtenida por método tradicional (mt) del cokrigado empleando como covariable resina taladro y como variables auxiliares las reflectancias Landsat correspondientes a las regiones verde, roja e infrarroja media del espectro.

Como indicador de la validez de este modelo y establecer la guía para su aplicación, es conveniente realizar una validación del modelo con datos externos a los utilizados en el ajuste.

Se ha comparado la predicción del cokrigado universal espacio temporal llevado a cabo en el área de estudio, que arroja datos de producción por árbol, con los datos de producción de la empresa Resinas Naturales, que está disponible en kilogramos de miera por superficie (lote resinero). Para ello se , se ha llevado a cabo un cokrigado universal espacio temporal por bloques. El “block kriging” es una técnica que estima la producción en una región del espacio (Goovaerts, 1998; Aubry y Debouzie, 2000) promediando la semivarianza entre cada parcela de medición y todos los puntos de la región de estimación; en nuestro caso entre las parcelas de medición y todos los píxeles incluidos en cada lote resinero.

La técnica utilizada ha sido el cokrigado universal en bloques espacio temporal (block ckuet) programada en MATLAB por Fernando Montes e incluida en el programa GEOSTAT. (Aún no está registrado)

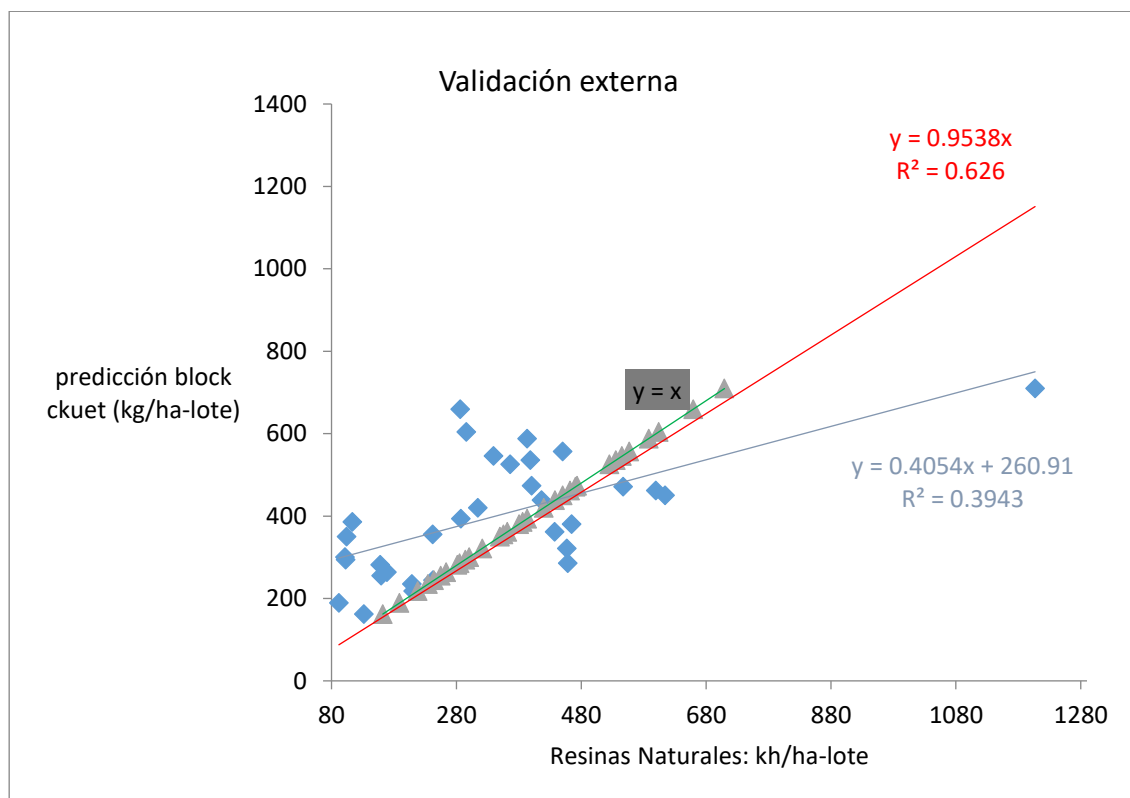
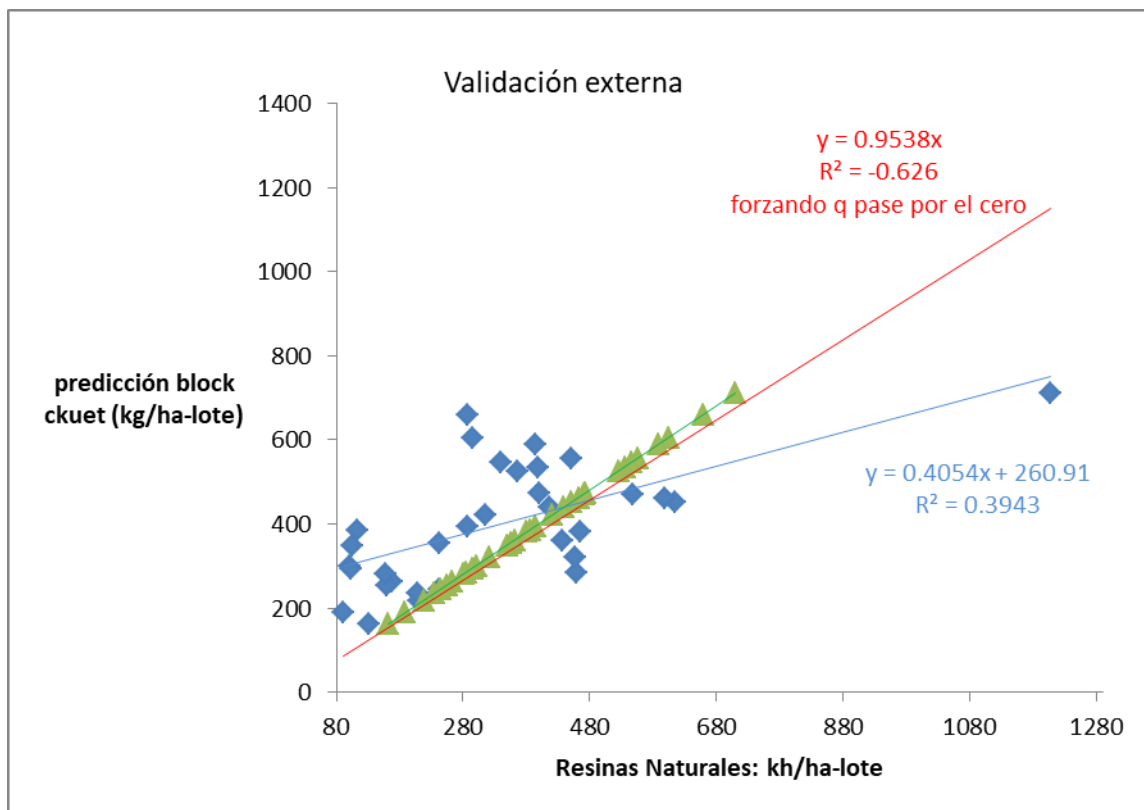


Figura 3. Validación del modelo de producción de resina con datos de lotes comerciales de la zona.



El repositorio de datos de parcelas de resina (resinlab) no contiene información sobre el tamaño de las parcelas, que hubiera sido de gran interés para confirmar algunas suposiciones que se han hecho al interpretar los resultados obtenidos con la teledetección. El modelo obtenido, por tanto, es aplicable a la zona de estudio con la restricción de que es un modelo para la estimación de la producción de resina en árboles individuales, lo que ocasiona que la estimación para lotes resineros tenga un error cuadrático del 40%.

Esto ha de ser tenido en cuenta a la hora de utilizar el modelo.

3.-Recomendaciones

- El modelo es valido para la zona de estudio, y para la estimación de produccion de resina por árbol. Para mejorar la estimación en la produccion de lotes resineros, debe incorporarse en futuras parcelas la medición de la superficie para poder transformar los datos de producción por árbol en datos de producción por hectárea. Estimando el valor de resina a nivel superficial, en lugar de a nivel de punto, disminuiría el error. El error es elevado porque se proporciona una estimación de producción por árbol. En los inventarios forestales suele darse el error a nivel de cuartel conocida la superficie de las parcelas y la producción de las mismas.

- Para disminuir el error del cokrigado respecto al nivel actual (27%) el muestreo óptimo es el sistemático (Montes et al 2006). Lo cual resulta de gran interés en el estudio de producciones como la resina, que presentan elevada variabilidad. Sin embargo no es sencillo ubicar parcelas de resinación en una malla regular.
- Se mejoran los resultados utilizando parcelas con el mismo tamaño o mismo número de árboles para recoger dentro de las parcelas el mismo nivel de variabilidad. Cuanto menor es la parcela mayor será la variabilidad entre parcelas y viceversa. Los datos utilizados en el proyecto SUSFOREST proceden de diferentes fuentes y se recogieron para diferentes usos. Esto ha permitido utilizar todas las fuentes de información existente.
- Podrían tomarse las distancias de cada árbol al centro de la parcela y los rumbos cuando se desee estudiar la correlación espacial a escalas menores. Esto presenta la ventaja de poder disgregarse parcelas en otras de menor tamaño.
- Se pueden realizar mediciones extra en el futuro, utilizando un modelo simplificado de estimación de la producción (bore hole o metodo simplificado utilizado en el MGB-CSIC). Estos sistemas permiten evaluar de forma rápida y estandarizada una gran cantidad de parcelas.
- A parte del inventario, y relacionado con el método de resinación, sería interesante estudiar si dejando un tiempo de descanso entre entalladuras en momentos clave del aprovechamiento se incrementa el vigor del árbol y produce más tras la parada de descanso. Para la determinación de la duración del periodo de descanso la teledetección puede ser de gran utilidad.

4.- Bibliografía

- Aubry, P. y Debuzie, D. 2000. Geostatistical estimation variance for the spatial mean in two dimensional systematic sampling. *Ecology* 81: 543:553
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in soil science:state of the art and perspectives. *Geoderma* 89:1-4
- Montes F, Hernandez MJ, Cañellas I. 2006 *A geostatistical approach to cork production sampling estimation in Quercus suber forests. Canadian Journal of Forest Research* 35(12) pp 2787-2796.



Proyecto Sust Forest Plus

“Estrategia y redes de colaboración para la multifuncionalidad, la conservación y el empleo en el territorio del sur de Europa a través de la extracción de la resina”



Producto 1.3-MOdeos de producción de resina.

Actividad 1.16. Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales



Entregable 1.16.1. Modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales para el espacio SUDOE

Autor/Responsable: INIA

Fecha entrega: 31/12/2020

**Interreg
Sudoe**

European Regional Development Fund



SOE2/P5/E0598
www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Índice

1. Introducción
2. Datos de partida
3. Cokrigado universal espacio temporal
4. Resultados
5. Resumen de resultados
6. Conclusiones
7. Recomendaciones
8. Bibliografía



1. Introducción

El Producto 1.5 sobre Sistema de evaluación temprana de la producción de resina, incluye dos actividades y dos entregables, de acuerdo a un plan de trabajo detallado en la descripción de la actividad. Uno de ellos es el sistema de evaluación precoz y el otro un modelo de producción de resina basado en variables dasométricas y ambientales

2. Datos de partida

Para construir los modelos se emplearon los datos tomados para los experimentos de evaluación precoz de 2019 y 2020, instalados por el INIA en los que se midió la resina obtenida con taladro radial en 20 árboles por parcela en 2019 y 10 árboles por parcela en 2020 durante 21 días. Además se emplearon los datos de resina obtenida por métodos tradicionales (resina mt) durante las campañas 2012-2017 por el Servicio Territorial de Medio Ambiente de Segovia. En las parcelas INIA de 2020 y en las del Servicio Territorial se midieron diámetros normales, alturas y edades, y en 2020 número de caras. Como último paso se han repetido los modelos incluyendo, además de los datos mencionados, datos de parcelas de 1998 y 1999 de parcelas instaladas por el INIA en las que se dispone de datos de resina obtenida por métodos tradicionales y datos dasométricos (alturas, diámetros, número de caras, y altura de copa).

Las variables auxiliares empleadas en los modelos se han obtenido del modelo digital del terreno MDT25 de 25 m de paso de malla del IGME y de imágenes Landsat 5TM, Landsat 7ETM+ y Landsat 8 OLI, de tamaño de pixel 30x30m.

A partir del MDT25 se obtuvieron las variables auxiliares: altitud, orientación, pendiente, y curvaturas transversal y longitudinal del terreno.

Las variables auxiliares obtenidas de las imágenes de Landsat son las reflectancias del terreno en diferentes longitudes de onda (bandas) en los años correspondientes a la producción de resina y en el año y dos años anteriores por si hubiese algún efecto de de la radiación de años anteriores en la producción de resina del año siguiente.

La figura 1 muestra la distribución de las parcelas en el área de estudio diferenciando con símbolos las correspondientes a distintas procedencias.

Localización de las parcelas

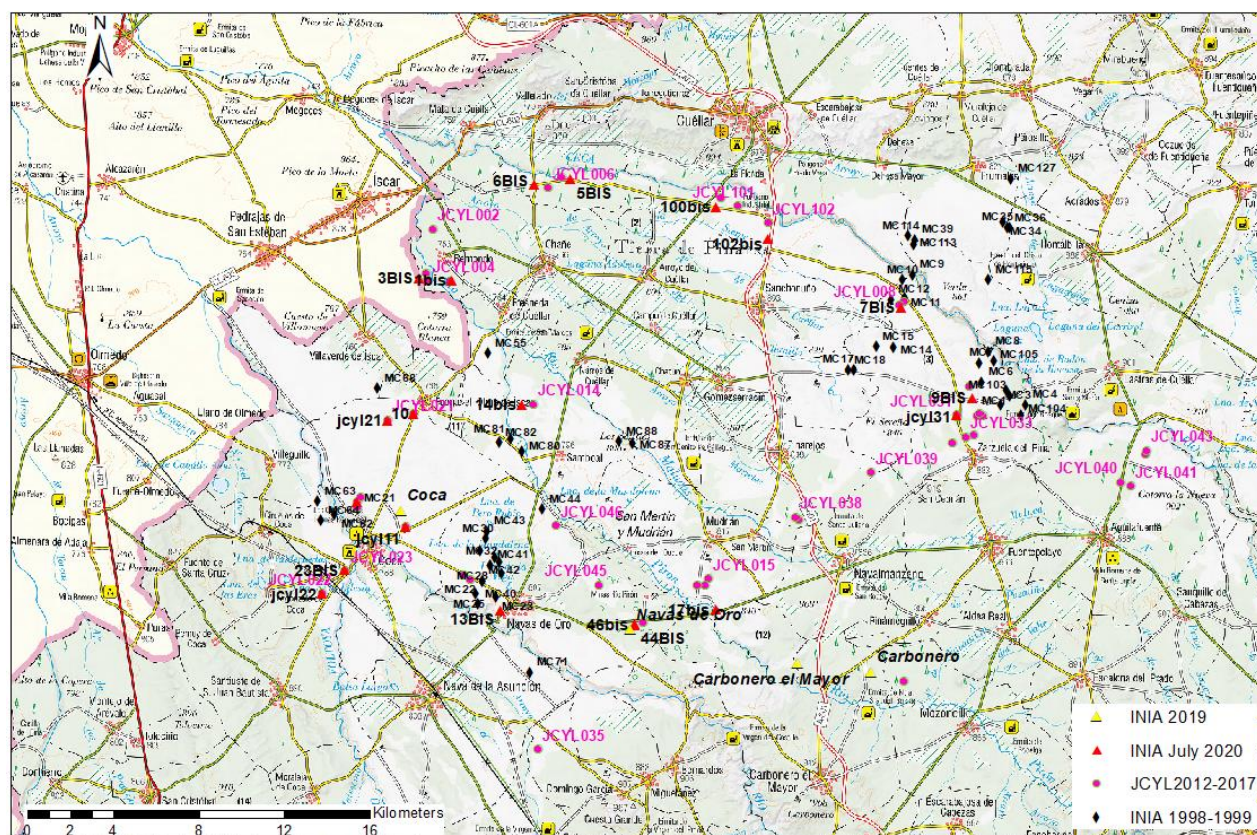


Figura 1: Mapa de situación de las parcelas: los triángulos amarillos y rojos representan parcelas en las que se ha medido resina mediante taladro en 2019 y 2020 respectivamente. Las parcelas instaladas por la JCYL en las que se ha medido resina obtenida por método tradicional entre 2012-2017 se representan mediante círculos rosas y las parcelas de INIA en las que se registraron 1998 y 1999 datos de resina obtenida con métodos tradicionales se representan con rombos negros.

3.-Cokrigado universal espacio temporal

El cokrigado universal espacio temporal (CKUET) permite estimar la producción de resina de la campaña de un año determinado a partir de los datos de otras covariables (variables dasométricas medidas en parcelas) y de variables auxiliares (variables ambientales conocidas en todo el territorio, no solamente en las parcelas).

El cokrigado espacio temporal predice el valor de una variable Z en un punto s_0 , en el instante t_0 [$p(Z, s_0, t_0)$] como combinación lineal de los valores observados de otras covariables Z_k y de ella misma en otros puntos del espacio y del tiempo (1).

$$p(Z_i, s_0, t_0) = \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^N \lambda_{ikj} Z_k(s, t)_j \quad (1)$$

Donde r es el número de covariables (Z_k), N el número de pares de observaciones espacio temporales (s, t), λ_{ikj} coeficientes de regresión específicos para cada Z_i , Z_k y cada par (s, t)_j

Las variables Z cuyo valor queremos predecir, en nuestro caso producción de resina extraída con métodos tradicionales, pueden descomponerse como la suma de un componente determinístico, y otro estocástico (2). El primero recogería la variación a larga escala que puede ser explicada por una o más variables auxiliares (f_i) exhaustivamente conocidas en el terreno y una variación a pequeña escala, $\delta_i(s, t)$, residual, cuya media se considera cero y que es el componente estocástico, que puede o no presentar correlación espacio temporal.

$$Z_i(s_0, t_0) = \sum_{k=0}^q \beta_{ik} f_{ik}(s_0, t_0) + \delta_i(s_0, t_0) \quad (2)$$

Donde q es el número de variables auxiliares f cuya combinación lineal explica parte de la variación de Z_i , y β son coeficientes de regresión.

Como variables auxiliares exhaustivamente conocidas en el territorio mediante un modelo digital del terreno, se han introducido la orientación, la altitud, la pendiente, la curvatura transversal y longitudinal del terreno. Las coordenadas x e y también se incluyeron como variables auxiliares.

También se han empleado como variables auxiliares, en otro cokrigado aparte el valor de reflectancia de las diferentes bandas de Landsat disponibles en las fechas en las que tenemos datos de producción de resina, un año anterior a la producción de resina y dos años antes.

Como covariables se han empleado la resina obtenida con taladro, el número de caras, la edad, la altura, el ratio altura de copa/altura total y el diámetro normal, separadamente, con el objeto de determinar si alguna se correlaciona mejor con la producción de resina

En el semivariograma experimental se representa la semivarianza de los residuos $\delta_i(s_0, t_0)$ en función de la distancia y el tiempo que separa a las observaciones. El semivariograma experimental se ajusta a un modelo teórico que determina la varianza explicada por la correlación espacio temporal.

Tanto los semivariogramas correspondientes a la variable dependiente y a la covariable como el cruzado (interacción entre ambas covariables) se han ajustado como combinación lineal de tres variogramas elementales: un efecto pepita puro $\gamma(d) = 1$, y dos variogramas elementales esféricos (3) uno para describir la semivarianza en función de la distancia y otro en función del tiempo:

$$\gamma(d) = \begin{cases} c_0 + (c - c_0) * \left(\frac{3d}{2a} - \frac{d^3}{2a^3} \right) & \text{si } d \leq a \\ c & \text{si } d > a \\ 0 & \text{si } d = 0 \end{cases} \quad (3)$$

En los que se ha considerado $c_0 = 0$

Donde c_0 es la pepita del variograma, c es la meseta, a es el alcance y d es el intervalo de distancia o tiempo para el que se está calculando la semivarianza.

Se ha efectuado una validación cruzada con un número de repeticiones igual al número de observaciones disponibles y se ha obtenido el error medio cuadrático, el sesgo y un estadístico indicador de la bondad de la predicción que divide el cuadrado del error medio cuadrático entre la varianza de la predicción y cuyo valor óptimo es la unidad. En cada cokrigado la correlación estructural relativa espacial y temporal ha sido calculada según la describen Moreno-Fernández *et al* (2016), para conocer el porcentaje de varianza explicada por la correlación espacio-temporal entre las covariables del modelo.

Se han elaborado los siguientes modelos:

Empleando los datos INIA 2019 Y 2020 (resina-taladro) junto con los datos de la JCYL de 2012-2017:

1. CKUETs entre resina mt y resina-taladro empleando como variables auxiliares las variables ambientales generadas a partir del MDT25.
2. CKUETs entre resina mt y resina-taladro empleando como variables auxiliares la reflectancia del terreno en diferentes longitudes de onda y recogida por las diferentes bandas de las imágenes Landsat disponibles para la zona, en el año de producción de resina.

Empleando los datos INIA 2019 Y 2020 (resina-taladro) junto con los datos de la JCYL de 2012-2017 y añadiendo los datos INIA 1998-1999 (serie larga)

1. Cokrigados ordinarios (sin variables auxiliares) entre resina mt y el resto de variables dendrométricas.
2. CKUETs entre resina mt y resina-taladro empleando como variables auxiliares las variables ambientales generadas a partir del MDT25
3. CKUETs empleando como variables auxiliares la reflectancia del terreno en diferentes longitudes de onda y recogida por las diferentes bandas de las imágenes Landsat disponibles para la zona, en el año de producción de resina
4. CKUETs empleando como variables auxiliares las reflectancias del terreno recogidas por las imágenes Landsat en el año anterior y dos años antes del año de producción de resina.

Para elaborar los modelos en los que se emplearon imágenes de teledetección para obtener las variables auxiliares, se consideraron imágenes adquiridas durante el verano (junio-septiembre) para crear un producto sintético anual con las mejores observaciones posibles (libres de nubes, sombras y otros artefactos atmosféricos). Los criterios de selección de cada pixel fueron: fecha lo más próxima posible al 30 de julio, y prioridad de sensores con mejor calidad radiométrica (Landsat 8 OLI > Landsat

5 TM > Landsat 7 ETM+). Se ha seguido para nombrar las bandas la numeración de Landsat 7 ETM+. La primera banda b1: correspondiente a la longitud de onda del color azul (0.45-0.52 μm), b2: verde (0.52-0.60 μm), b3 rojo (0.63-0.69 μm), b4 infrarrojo cercano o NIR (0.77-0.90 μm), y las dos bandas del infrarrojo medio: b5 (1.55-1.75 μm) y b7 (2.08-2.35 μm).

4.-Resultados:

4.1) Modelos elaborados con la serie de datos 2012-2017 y 2019-2020

4.1.a) Empleo de variables auxiliares obtenidas a partir del MDT25.

Todas las variables auxiliares generadas a partir del MDT 25 enumeradas en el apartado anterior pueden resultar significativas en el CKUET resina mt-resina taladro, en función de la combinación de las mismas que se seleccione, así que para construir el modelo se buscó la combinación de variables auxiliares con la que se obtuviera un modelo con mayor porcentaje de varianza explicada por las la correlación espacio temporal entre covariables un menor error medio cuadrático y una mayor significación de la variable auxiliar, de modo que finalmente sólo se incluyó como variable auxiliar la orientación.

En la figura 2 se representa la estimación de la producción de resina mt en 2020 obtenida mediante un CKUET empleando como covariable la resina taladro y la orientación como variable auxiliar. La figura 3 representa la varianza de la predicción de la resina mt en el área de estudio.

La orientación presenta una correlación negativa significativa (tabla 1) con la producción de resina mt. La orientación se ha incluido como variable auxiliar en el modelo en grados, asignándole un valor -1 a las zonas orientadas a todos los vientos. Este resultado indica que la producción de resina resulta mayor en laderas cuya orientación tenga componente Este que en ladera cuya orientación corresponda a ángulos incluidos en la segunda mitad de la circunferencia. En la figura 3 se representa la producción de resina mt frente al valor de la orientación, obtenida del MDT. Se observa un máximo en torno a la orientación Este (85°), y otro en la orientación Oeste (270°), pero con una variabilidad mucho mayor este último.

La tabla 1 muestra los resultados de los diferentes CKUET realizados con distintas variables dasométricas como covariables, empleando la orientación como variable auxiliar. Para cada covariable se muestra la varianza explicada por la correlación espacio-temporal entre las covariables, el sesgo, el error cuadrático medio absoluto y relativo a la media de producción de resina mt medida en las parcelas y un estadístico de bondad de ajuste del modelo cuyo valor debe aproximarse a uno y que representa el cuadrado del error medio cuadrático relativo a la varianza de la predicción. La última columna

muestra el parámetro β y el p-value de la variable auxiliar utilizada en todos esos modelos: la orientación.

El error medio cuadrático relativo a la media está en torno al 26-29% para todas las covariables ensayadas salvo para el diámetro normal, que alcanza un 39.9%. La resina de taladro, el número de caras y la edad son las variables cuya correlación espacio temporal con la resina extraída por medios tradicionales mejor explica la variabilidad de la producción de resina mt. La orientación resulta significativa estadísticamente en todos los cokrigeados.

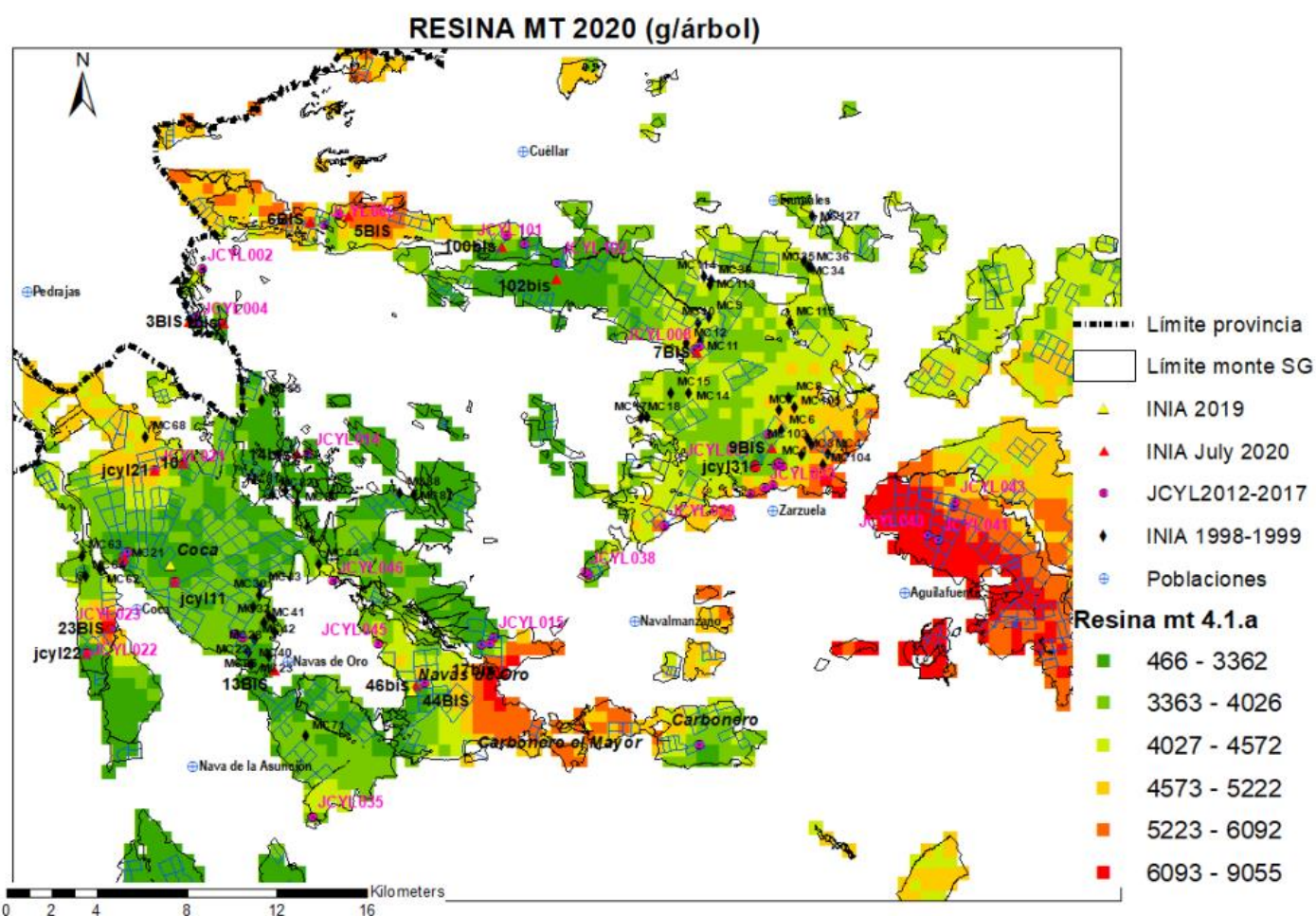


Figura2: Predicción de resina mt mediante CKUET utilizando como covariable resina taladro y como variable auxiliar la orientación

En la figura 3 se observa cómo disminuye la varianza de la predicción cuando nos acercamos a los puntos en los que hay parcelas. El error de predicción disminuiría con un mayor número de parcelas. Poder disponer de un inventario sistemático disminuiría el error de predicción, si bien es complicado

dado que la resinación tiene lugar en tramos que no necesariamente están regularmente distribuidos en el espacio.

Figura 3: Varianza de la predicción de resina mt en el área de estudio

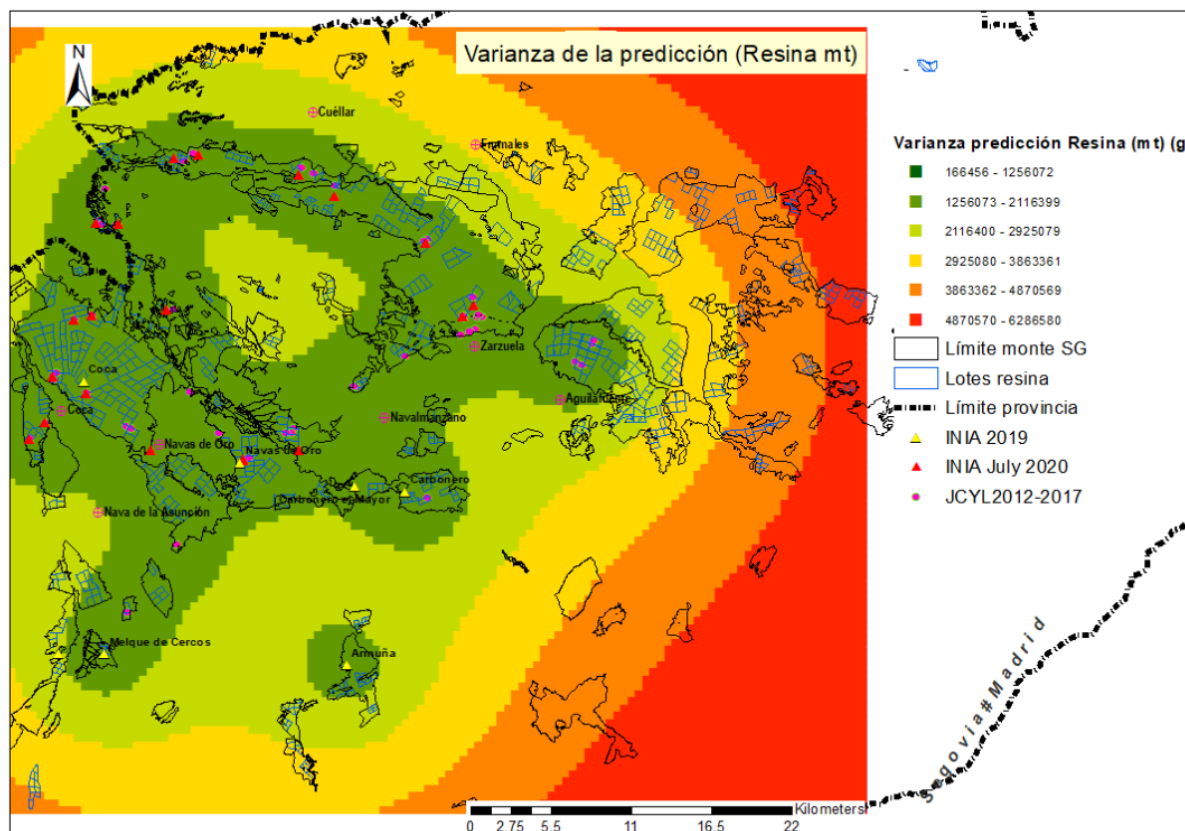


Tabla 1: resultados de CKUETs efectuados con otras covariables relativos a resina mt

Covariable	% VExy	%VEt	%VNE	SESGO (g)	EMC relativo (%) Abs (g)	$[p(Z(s_0, t_0)) - Z(s_0, t_0)]^2 / n\sigma^2$	$\beta_{\text{orientacion}}$ / p-value
Resina-taladro (g/árbol)	58.9	15.8	25.3	-8.84	26.5% 1191	2.18	- 0.22/0.0001
Edad (años)	35.6	28.7	35.6	-5.1	26.4% 1187	2.4	- 0.21/4.7.10-4
Ht (m)	-18.9	-15.3	66	-8.74	26.6% 1197	2.79	- 0.20/4.7.10-4
Nº de caras	50	22	28	8.7	26.5% 1192	2.49	- 0.20/4.1.10-4
Hcopa/Htotal	0.27	25.63	74.09	-21.5	29.35% 1321	1.57	-0.20/3.10-4
DAP (cm)	24.8	0	75.2	67	39.9% 1797	3.03	-0.19/0.007

Ht: altura total, Hcopa, altura de copa, dap: diámetro altura del pecho. VExy: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacial, vet, porcentaje de varianza de la variable resinamt explicada por la varianza temporal, VNE: varianza no explicada por la correlación espacio-temporal entre covariables, EMC. Error medio cuadrático, $[p(Z(s_0, t_0)) - Z(s_0, t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción; β -orientación: coeficiente de regresión de la ecuación (2) para la relación resina mt -orientación

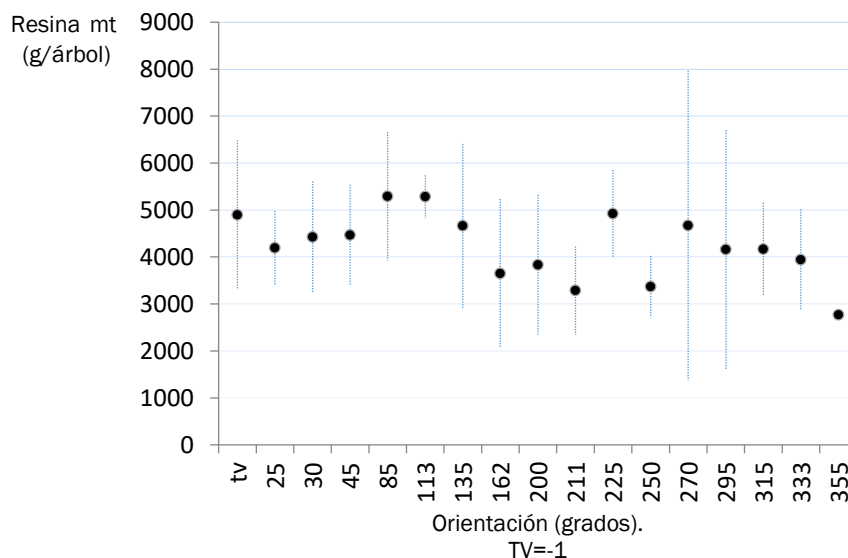


Figura 4: Producción de resina frente a orientación

4.1.b) Empleo de reflectancias medidas por satélites Landsat como variables auxiliares.

Resultó significativo en la estimación de la resina mt el efecto de las reflectancias en la bandas roja ($p=0.009$) y verde ($p=0.011$) del espectro. El signo de la correlación entre la reflectancia y la producción de resina es positivo en la banda roja del espectro y negativo en la banda verde. En la zona roja del espectro electromagnético hay un máximo de absorción de clorofila, mientras que en la banda del verde hay un mínimo, la clorofila refleja el verde (Figura 5).

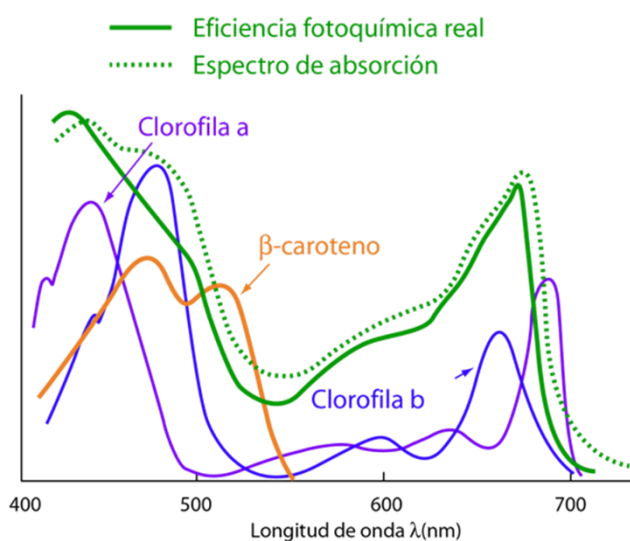


Figura 5. Espectro de absorción y eficiencia fotoquímica real. (<https://naturalmenteciencias.files.wordpress.com/2011/11/absorption-spectrum.jpg>)

Este resultado puede estar indicando una mayor producción de resina asociada a la existencia de una menor densidad de vegetación, que implicaría menor reflexión en el verde y menor absorción en el rojo. Trabajos como el de Rodríguez-García et al (2015) realizados en esta misma área de estudio muestran una mayor producción de resina por árbol en masas menos densas, sin embargo la producción por hectárea no necesariamente tiene por qué ser mayor.

Así mismo, la resinación supone un estrés para las plantas. Es una herida en la corteza mediante la que se seccionan con la corteza el cambium y el floema y va a repercutir en el estado fisiológico del árbol, especialmente en el transporte de fotoasimilados, que se va a interrumpir en la zona de la herida, y deberá reorganizarse, deberá crearse un camino alternativo para dirigir los fotosintatos que se dirigían a las raíces por el tronco resinado. Serán necesarios recursos para reparar los tejidos dañados y para rellenar los canales resiníferos que se van vaciando, y que para el árbol medio supone un gasto de unos 3,5 kg de resina por árbol.

En verano, a plena luz solar y sin nubes, la radiación fotosintéticamente activa (400-700nm) en nuestras latitudes alcanza valores de saturación (2000-2200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$). Este valor, además puede disminuir en función del estado fisiológico y nutricional de la planta. Cuando una hoja es iluminada y no puede transformar toda la energía que recibe en energía química, lo cual puede suceder porque la captación y canalización de la energía lumínica desde las antenas hasta los centros de recepción son procesos más rápidos que el transporte de electrones, o por estreses diversos: falta de nutrientes, cierre de estomas por déficit hídrico, o por señales bioquímicas en la planta, se ponen en marcha una serie de mecanismos de disipación de la energía que van desde la emisión de calor, la emisión de radiación (fluorescencia) a la ruptura de la proteína D1 del fotosistema II a modo de fusible para evitar daños mayores en el aparato fotosintético. Esta proteína tiene una tasa de reposición muy alta y las plantas cuentan con mecanismos de reparación. Cuando los mecanismos de desacoplamiento y reparación no son suficientes para disipar toda la energía excedentaria se produce la fotoinhibición efectiva, con disminución de la tasa fotosintética. (Azcón-Bieto, Talón 2008).

En la figura 6 se muestran los resultados del CKUET empleando como covariables *resina mt* y *resina taladro*, y como variables auxiliares las reflectancias Landsat correspondientes al año de producción de resina. La figura superior muestra la estimación de la producción de resina y la inferior la varianza de la predicción.

Los resultados del modelo muestran que las parcelas con valores más elevados de producción por árbol presentan unos valores de reflectancia en el rojo más altos y en el verde más bajos y a la inversa, los valores más bajos de producción de resina se asocian a valores más bajos de reflectancia en el rojo y mayor reflexión en el verde. Este resultado sugiere que son las plantas que están disipando la energía lumínica las que más resina producen, y por el contrario, aquellas que están absorbiendo radiación roja, o que no están disipando energía en el rojo por medio del mecanismo de fluorescencia, y que presentan mayor reflectancia en el verde están produciendo menos resina.

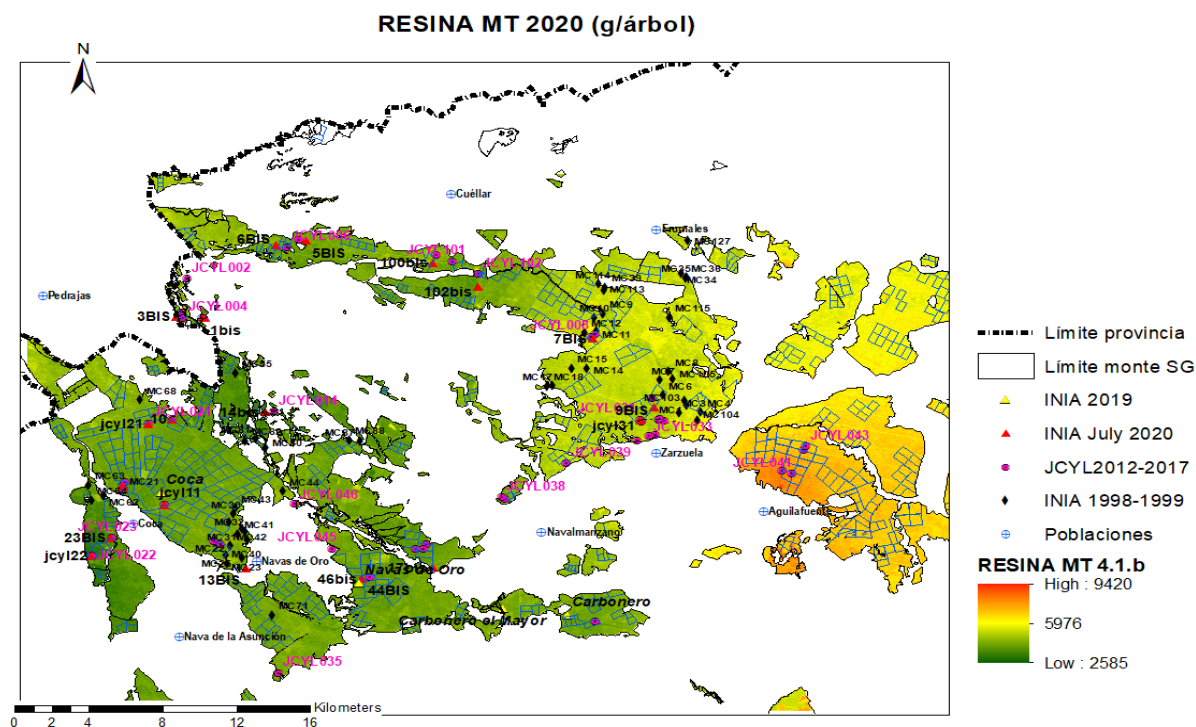
El estrés generado por la herida de resinación puede estar limitando la tasa fotosintética. Uno de los primeros efectos de estrés en las plantas es el cierre estomático. Las plantas disponen de mecanismos para disipar la luz captada que no son capaces de transformar en energía química para evitar daños como los producidos por especies reactivas de oxígeno (ROS). Pero cuando se superan las capacidades de disipación y reparación de la planta, las clorofilas separadas de la proteína D1 son degradadas por la clorofilasa y se observa disminución en el contenido de clorofila de la planta. Numerosos artículos científicos reportan disminución de contenido de clorofila bajo condiciones de estrés (Mahfaheri et al 2010, Rong-Hual et al 2006, Sanchez et al 83).

Parece que nuestros resultados apuntan hacia una situación de estrés en la que los árboles más estresados, que están disipando energía por fluorescencia en el rojo y que han sufrido daños en sus aparatos fotosintéticos son los que producen más resina. Bien puede entenderse a la inversa: que los mayores productores están sufriendo un mayor estrés fisiológico.

La tabla 2 recoge los resultados del modelo.

Tabla 2: resultados de CKUET efectuados entre *resina mt* y *resina taladro* utilizando como variables auxiliares las reflectancias verde y roja de Landsat correspondientes al año de producción de resina

Covariable	% VExy	%VEt	%VNE	SESGO (g)	EMC relativo (%) /absoluto	$[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / n\sigma^2$	$\beta/p\text{-value}$
Resina-taladro (g/árbol)	61.7	3	35.3	11.2	27.7% 1267.9	1.43	-0.67/0.009 B2 0.66/0.011 B3



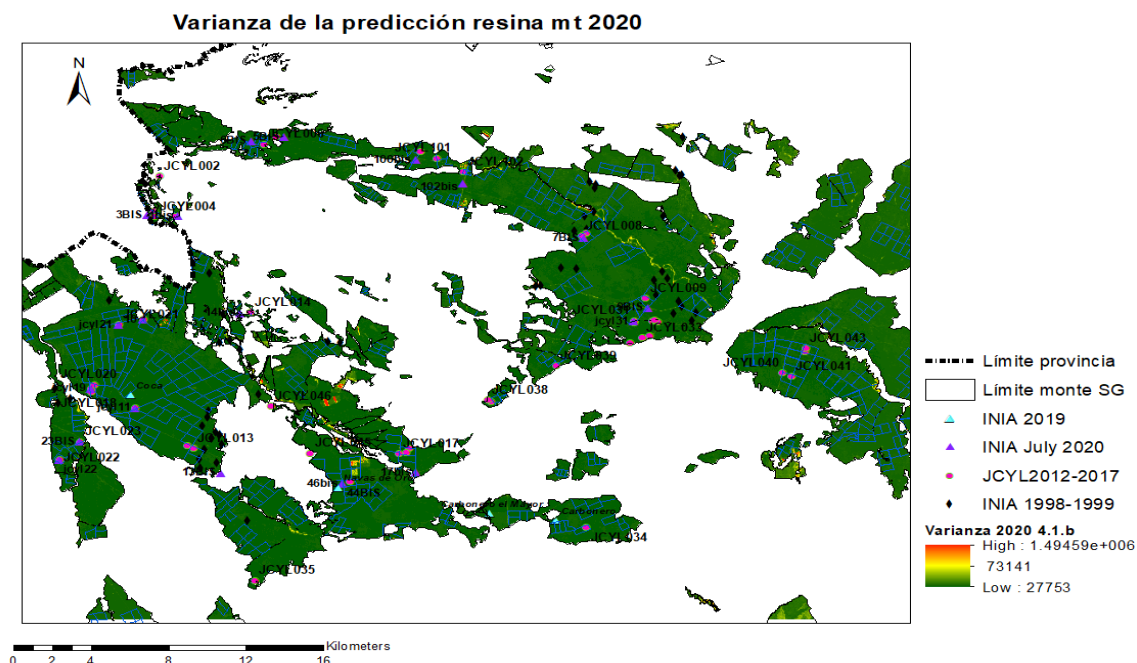


Figura 6: Superior: Estimación de resina mt (superior) y varianza (inferior) de la predicción obtenidas mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladros en 2019 y 2020 y como variables auxiliares las reflectancias de las imágenes de Landsat correspondientes al año de producción de resina.

4.2) Cokrigados Incluyendo datos de 1998-1999 , 2012-2017 y 2019-2020

La tabla tres muestra los resultados de un cokrigado ordinario (sin emplear variables auxiliares) entre la resina obtenida con métodos tradicionales, la resina de taladro y el resto de variables dasométricas medidas en las parcelas: edad, altura total, número de caras, ratio altura de copa/altura total y diámetro normal. Los cokrigados se han realizado con dos variables cada vez, enfrentando la resina mt con las otras covariables, de una en una, con el objeto de comparar el efecto de diferentes covariables en la estimación de resina mt.

Tabla 3: resultados de cokrigados ordinarios resina mt frente a otras covariables, empleando datos de 1998-1999, 2012-2017 y 2019-2020

Covariable	% VExyt	%VNE	SESGO (g)	EMC (relativo)	$[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / n\sigma^2$
Resina-taladro (g/árbol)	62.8	37.2	-2.2	1127 (27.5%)	1.43
Edad (años)	47.5	52.5	-0.13	1126 (27.49)	1.42

Ht (m)	24.8	74.2	-4.4	1206 (29.4%)	1.62
Nº de caras	54.6	45.4	3.41	1260 (30.7%)	1.74
Hcopa_Htotal	32.75	67.25	-0.73	1144 (27.9%)	1.52
DAP (cm)	23.23	76.8	-4.79	1135 (27.7%)	1.37

Ht: altura total, Hcopa, altura de copa, dap: diámetro altura del pecho. VExyt: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacial y temporal, VNE: varianza no explicada, EMC. Error medio cuadrático, $[p(Z(s_0, t_0)) - Z(s_0, t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción.

No hay diferencias importantes en el error cuadrático medio de los cokrigeados llevados a cabo salvo en el caso del número de caras, en que el error es mayor. Las variables que mejor explican la variabilidad de resina mt son nuevamente, como sucedía empleando la serie corta de datos, la resina obtenida con taladro y número de caras seguidas de edad del árbol, si bien, los modelos son mejores para resina obtenida con taladro y edad.

Incluyendo los datos de 1998 y 1999, se dispone de un mayor número de observaciones registradas de número de caras y se observa que la resina obtenida con taladro es mejor indicador de la producción de resina mt que el número de caras, ya que aunque explican el mismo porcentaje de variabilidad, el error es menor para resina-taladro. Las covariables cuya correlación espacio temporal con la resina extraída mediante métodos tradicionales explican menor porcentaje de la variabilidad de la misma son diámetro normal, altura total, y el cociente entre altura de copa y altura total, si bien, como se ha mencionado anteriormente, el error medio cuadrático, es muy parecido al de la variable resina-taladro.

4.2.a) CKUET resina mt - resina -taladro . Variables auxiliares obtenidas a partir del MDT25.

La tabla seis muestra los resultados de un CKUET empleando la orientación como variable auxiliar. Previamente se realizaron cokrigeados entre resinamt y resina-taladro empleando diferentes combinaciones de variables auxiliares, así como cada variable auxiliar por separado. El cokrigado con la orientación como variable auxiliar es el modelo que explica el mayor porcentaje de varianza y presenta el menor error. Las variables altitud, pendiente, coordenada y, las curvaturas longitudinal y total del terreno, no resultan significativas cuando se introducen como única variable auxiliar en el modelo. El resto: orientación, curvatura transversal y coordenada x resultan significativas.

El error del modelo es 73 g menor al obtenido con la serie de datos que no incluye los años 98 y 99: 1118 gramos (27.3%) y la covariable resulta más explicativa y la variable auxiliar, la orientación presenta un valor del parámetro β menor, y un p value mayor El modelo, al incluir un mayor número de datos, mejora.

Tabla 6: resultado del cokrigado universal espacio temporal empleando como covariables resina mt y resina taladro y la orientación como variable auxiliar incorporando todos los datos disponibles

Covariable	% VExy	% VEt	% VNE	SESGO (g)	EMC Absoluto (g) (relativo)	$[p(Z(s_0, t_0)) - Z(s_0, t_0)]^2 / n\sigma^2$	$\beta/p\text{-value}$
Resina- taladro (g/árbol)	60.4	24.17	15.4	-3.9	1118 (27.3%)	1.5	-0.11/0.01

VExy, VEt: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacial y temporal respectivamente, VNE: varianza no explicada, EMC. Error medio cuadrático absoluto y relativo, $[p(Z(s_0, t_0)) - Z(s_0, t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción.

En la figura 7 se muestra el gráfico producción de resina frente a la variable orientación para el conjunto completo de datos. Aunque el máximo de producción en la orientación este es menos claro que en la figura 4, se observa que en conjunto la producción es mayor en las laderas que presentan una orientación entre 0 y 180° que en las orientadas hacia el oeste.

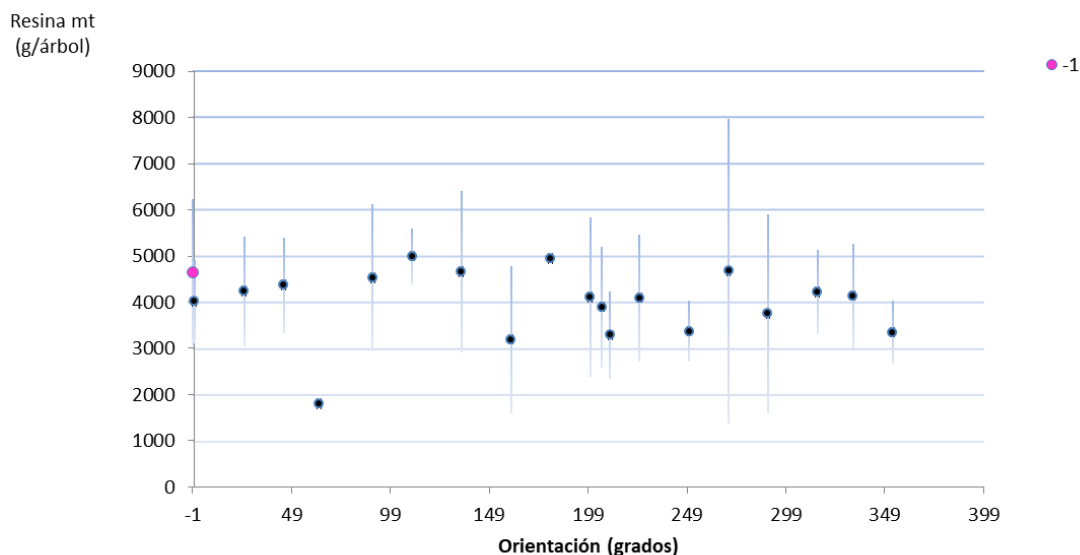


Figura 7: representación de la producción de resina (pica ascendente) frente a la orientación de la ladera en todas las parcelas: 1998,1999, 2012-2017. Todos vientos=-1

En la figura 8 se muestra la estimación de resina mt en 2010, 2015 y 2020 a partir de resina-taladro (2019-2020) utilizando la orientación como variable auxiliar. Bajo los mapas de estimación se presentan los mapas de varianza de la estimación. En los tres primeros mapas de la figura 8 se observa una tendencia ligeramente descendente en la producción de resina de 2010 a 2020.

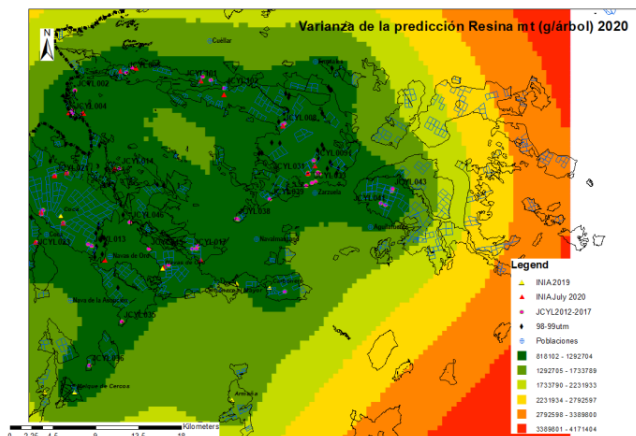
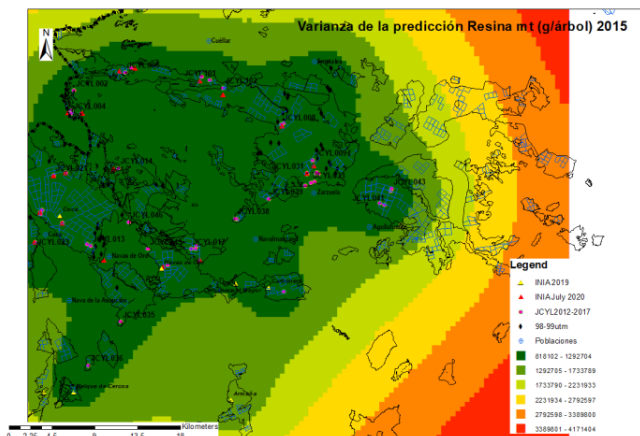
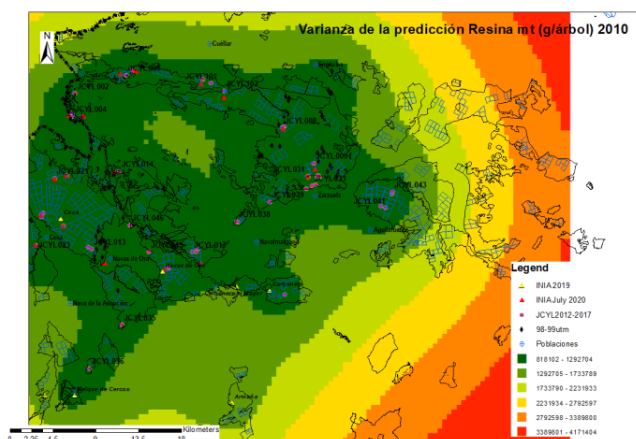
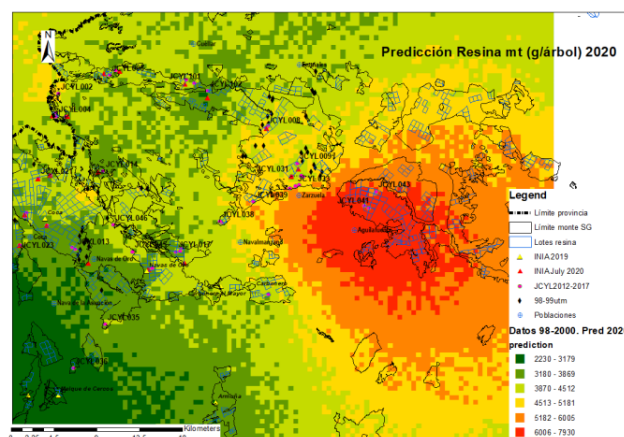
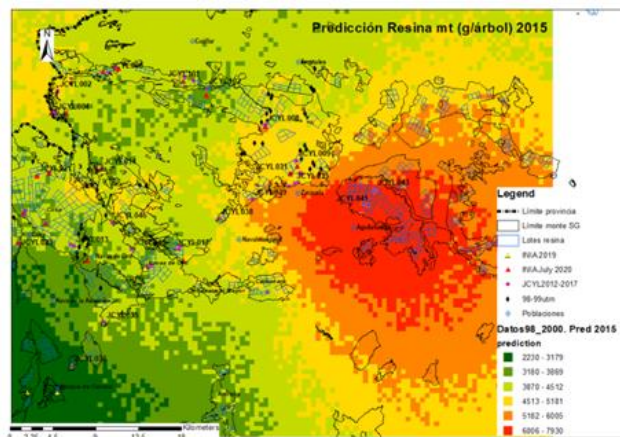
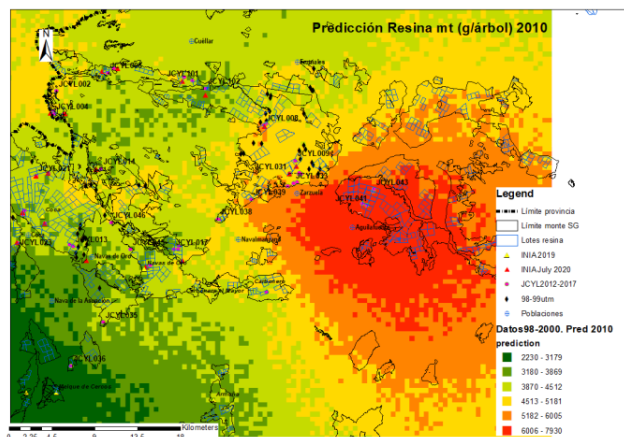


Figura 8: Predicción de resina mt mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladros en 2019 y 2020. Variable auxiliar orientación. Las tres últimas imágenes corresponden a la varianza de la predicción en los años 2010,2015 y 2020

4.2.b) CKUET entre resina mt y resina obtenida con taladro empleando como variables auxiliares las reflectancias de imágenes Landsat correspondientes al año de producción de resina

La figura 9 muestra la producción de resina mt estimada empleando solamente las reflectancias de Landsat correspondientes a las regiones o bandas del espectro que presentaron una correlación significativa con la producción de resina: banda 2-verde, 3-rojo y 7-infrarrojo medio. La figura 10 muestra la varianza de la predicción

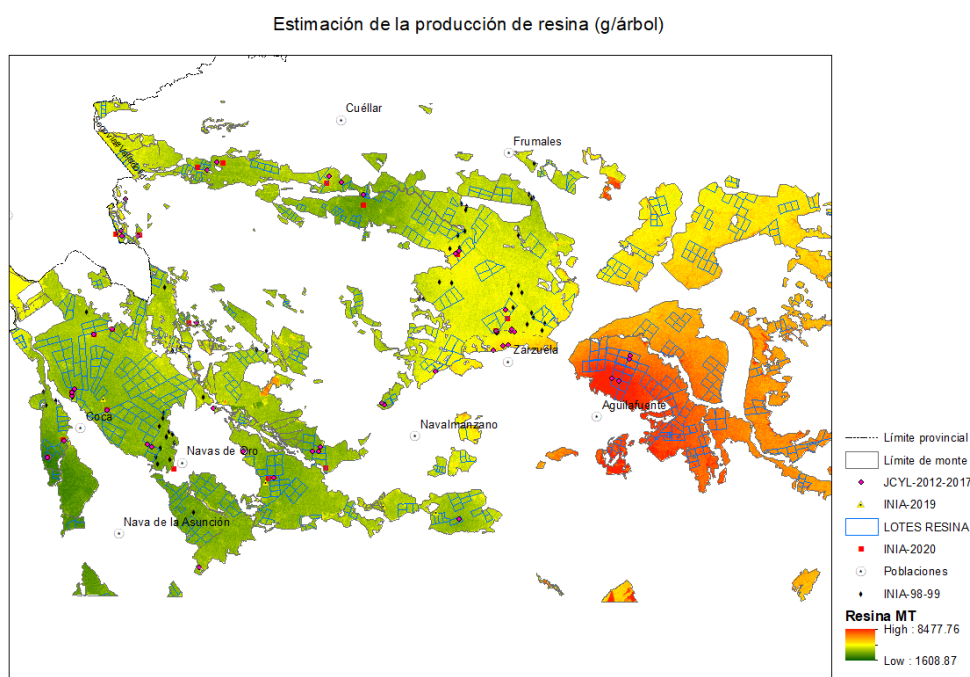


Figura 9: Predicción de resina mt mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladro en 2019 y 2020 y como variables auxiliares las reflectancias correspondientes al verde, rojo e infrarrojo medio de las imágenes Landsat.

Varianza de la estimación de resina mt

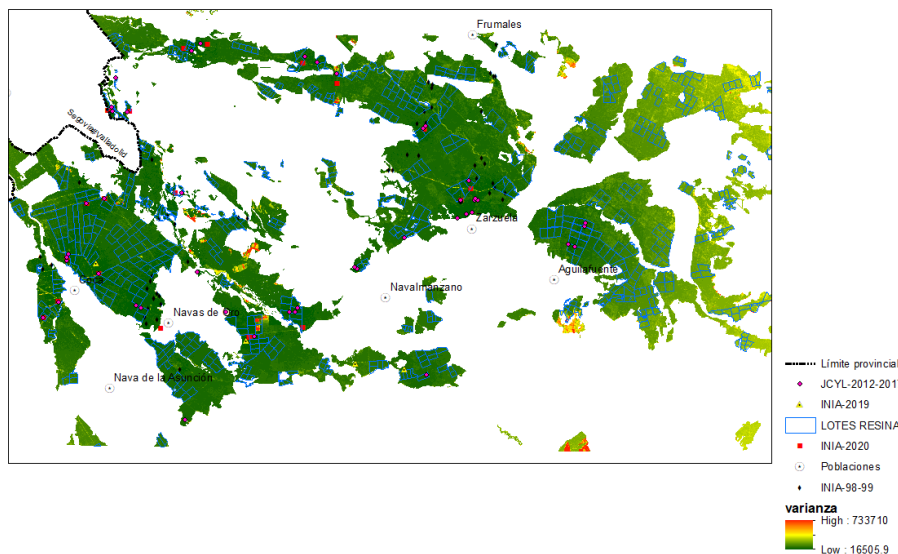


Figura 10: Varianza de la predicción de resina obtenida por método tradicional (mt) del cokrigado empleando como covariable resina taladro y como variables auxiliares las reflectancias Landsat correspondientes a las regiones verde, roja e infrarroja media del espectro.

En la tabla 7 se resumen las características del modelo.

Tabla 7: resultados del cokrigado efectuados entre resina mt y resina taladro utilizando como variables auxiliares las reflectancias correspondientes a las regiones del verde, rojo, infrarrojo cercano (B4 Y B5) e infrarrojo medio de imágenes Landsat

Covariable	% VExy	%Vet	%VNE	SESGO (g)	EMC relativo (%) ABSOLUTO (g)	$[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / n\sigma^2$	$\beta/p\text{-value}$ reflectancias año n
Resina-taladro (g/árbol)	69	11	20	-8.3	27.7% 1125 g	1.69	-0.76/0.0005 B2 0.86/0.0008 B3 0.11/0.1 B4 0.14/0.26 B5 -0.33/0.058 B7

VExy, VEt: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacial y temporal respectivamente, VNE: varianza no explicada, EMC. Error medio cuadrático absoluto y relativo, $[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción.

Este modelo presenta un error cuadrático medio menor que el cokrigado equivalente realizado con la serie corta de datos (excluyendo datos 98 y 99), y explica un mayor porcentaje de la varianza. De nuevo, el modelo mejora con la inclusión de nuevos datos.

La correlación encontrada entre la producción de resina y las reflectancias es, al igual que sucedía con la serie de datos corta, negativa para la banda verde del espectro (B2) positiva para la banda roja (B3) y negativa para la banda del infrarrojo medio (B7), sin llegar a ser significativo el efecto de la reflectancia en esta última región del espectro. La radiación en la región del infrarrojo medio es absorbida por el agua. Una correlación negativa entre la producción de resina y la reflectancia en el infrarrojo medio estaría indicando una mayor producción individual de resina cuando hay humedad en el terreno y en la vegetación.

En general, atendiendo a la interpretación de que una mayor reflectancia en el rojo y menor en el verde asociada a mayor producción de resina puede deberse a una menor densidad de pies, los resultados del análisis con teledetección apuntarían a que los árboles producen más resina cuando tienen a su disposición los recursos necesarios: agua, luz y nutrientes.

La resinación es una agresión al árbol que le supone emplear sus reservas en fabricar de media 3.5 kg de resina. La fotosíntesis puede verse inhibida por falta de agua o nutrientes y debe disipar toda la energía luminosa que no pueda transformar en energía química por medio de los mecanismos ya mencionados, de modo que igual que se discutió en el apartado anterior, aquí se repetiría la explicación de que se han encontrado los mayores valores de producción en aquellas parcelas en las que los mecanismos de disipación de energía luminosa se estén produciendo más intensamente, en las que el estrés es mayor.

4.2.c) CKUET entre producción de resina mt y resina-taladro empleando como variables auxiliares las reflectancias de imágenes Landsat correspondientes a años anteriores al de producción de resina

4.2.c.1: CKUET entre resina mt y resina-taladro empleando como variables auxiliares imágenes Landsat correspondientes al año anterior al de producción de resina (n-1)

Los resultados del cokrigado de resina mt y resina taladro empleando como variables auxiliares las reflectancias Landsat de un año anterior a la producción de resina se muestran en la tabla 8. Se muestra el cokrigado efectuado únicamente con las reflectancias que presentaron correlación significativa con la producción de resina.

Las correlaciones entre reflectancias del año anterior a la producción y la producción de resina han cambiado respecto de las del apartado anterior: la reflectancia en el azul aparece negativamente correlacionada, mientras que la verde cambia de signo y presenta correlación positiva. La reflectancia en el infrarrojo medio continúa siendo negativa, con un p-value en el límite de la significación estadística. La reflectancia en la banda del rojo deja de tener correlación significativa con la producción de resina.

Estos resultados sugieren que en el año anterior al de resinación los árboles más productores son los que presentan una menor reflectancia (mayor absorción) en el azul, donde la clorofila presenta un máximo de absorción, y además existe un mayor contenido de agua en suelo y tejidos. Si la planta se encuentra en un buen estado fisiológico, parte de mejores condiciones para producir resina.

Tabla 8: resultados deL cokrigado efectuados entre resina mt y resina taladro utilizando como variables auxiliares las reflectancias correspondientes a las regiones del azul, verde, e infrarrojo medio de imágenes Landsat

Covariable	% VExy	% VEt	%VNE	SESGO (g)	EMC relativo (%) ABSOLUTO (g)	$[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / n\sigma^2$	β /p-value reflectancias (n-1)
Resina- taladro (g/árbol)	62.9	12.4	24.7	-4.7	1123 (27.2%)	1.64	B1: -0.32/0.026 B2: 0.59/0.0006 B7: -0.26/0.005

VExy, VEt: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacial y temporal respectivamente, VNE: varianza no explicada, EMC. Error medio cuadrático absoluto y relativo, $[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción.

Durante el año n-1 la planta puede que esté siendo resinada, no en todas las parcelas, en otras no disponemos de información. Independientemente de esto, lo que muestra el modelo es que en las parcelas más productivas se observa que durante el año anterior la absorción de radiación azul fue mayor y la reflectancia en el infrarrojo medio menor.

La correlación positiva con la reflectancia verde está mostrando un mayor contenido de clorofila en los árboles que el año siguiente van a producir más resina.

Mientras que en el año n los mayores productores son los más estresados, los que más energía disipan, en el año n-1 esos mismos árboles se encontraban en buen estado fisiológico.

La reflectancia en el rojo no resulta significativa. Dado que en esta banda del espectro se solapan los efectos de distintos mecanismos como la absorción en el rojo debida a la clorofila y la emisión debida a fenómenos de fluorescencia; si se están dando a nivel de dosel ambos procesos, tiene sentido que la reflectancia resultante no sea significativa.

La densidad del arbolado en el año n-1 es la misma que en el año n, y sin embargo no se ha obtenido una correlación positiva en el rojo y negativa en el verde cuando analizamos reflectancias en año n-1 y producción en el año n, poniendo en duda la interpretación que se ha hecho anteriormente de las reflectancias y la densidad del arbolado. La justificación a esta contradicción podría basarse en que el efecto de la densidad en la reflectancia es un efecto fijo, pero hay otros factores dinámicos que influyen en la reflectancia que absorben los sensores: en el caso de la reflectancia en la región roja del espectro, en el apartado anterior, una baja densidad de arbolado se correlacionaba con una alta reflectancia en el rojo y el estrés de la resinación actúa en el mismo sentido, disminuyendo la tasa fotosintética e incrementando la reflectancia; mientras que en este caso en el que estamos analizando la reflectancia en el año anterior a la producción, el estado fisiológico del árbol en las parcelas más productivas es mejor, por lo que la absorción en el rojo sería mayor y en el verde sería mayor la reflectancia, siendo efectos de signo contrario a los que produce la densidad y dando lugar a que en el caso de la reflectancia roja no resulte significativo el valor de la reflectancia.

Los resultados del análisis con reflectancias n-1 indican la posibilidad de captar a nivel de masa los procesos fisiológicos de la misma.

En el caso de la reflectancia en la banda del verde, parece que el valor alto en la reflectancia del verde en las parcelas más productivas (o el valor bajo en las menos productivas) se debe al contenido de clorofila que compensaría la supuesta menor densidad existente en las parcelas más productivas.

Si las mejores producciones de resina van precedidas de estados fisiológicos mejores, dejar un tiempo de descanso en momentos de declive de la producción podría mejorar la producción de resina permitiendo que el árbol se recupere. La experiencia demuestra que las primeras picas realizadas en la primera cara de un pino suelen producir menos resina que las siguientes, debido a que se inducen canales resiníferos traumáticos, adicionales a los constitutivos (Rodríguez García et al 2014). Sin embargo, el incremento no es indefinido. Sirvan como ejemplo, además de los datos empleados para elaborar los modelos en este trabajo (Fig 11), los gráficos de producción de resina por árbol que se presentan en la página siguiente (Fig 12), recogidos por CESEFOR: en la serie 2007-2009 la producción de resina aumenta, sin embargo, decrece en la serie de años 2010-2012.

Sería interesante comprobar si cuando la producción de resina empieza a decrecer, un periodo de descanso permitiría recuperar el nivel de producción anterior.

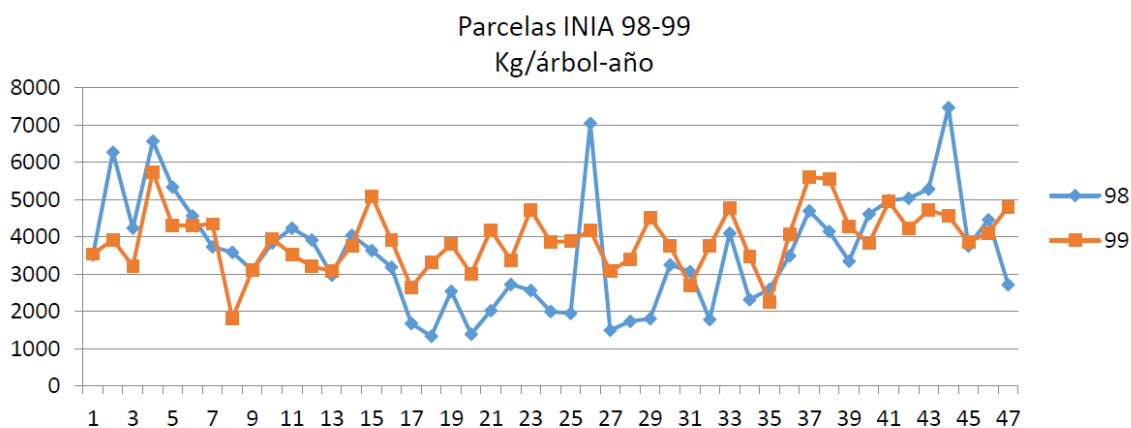


Figura 11: producción media anual por parcela de resina en las parcelas del Servicio Territorial de Medio Ambiente de la JCYL (arriba), en 2012, 2013, 2014 y 2017; y en las parcelas INIA 98-99.

En el eje x se muestra el código de parcela.

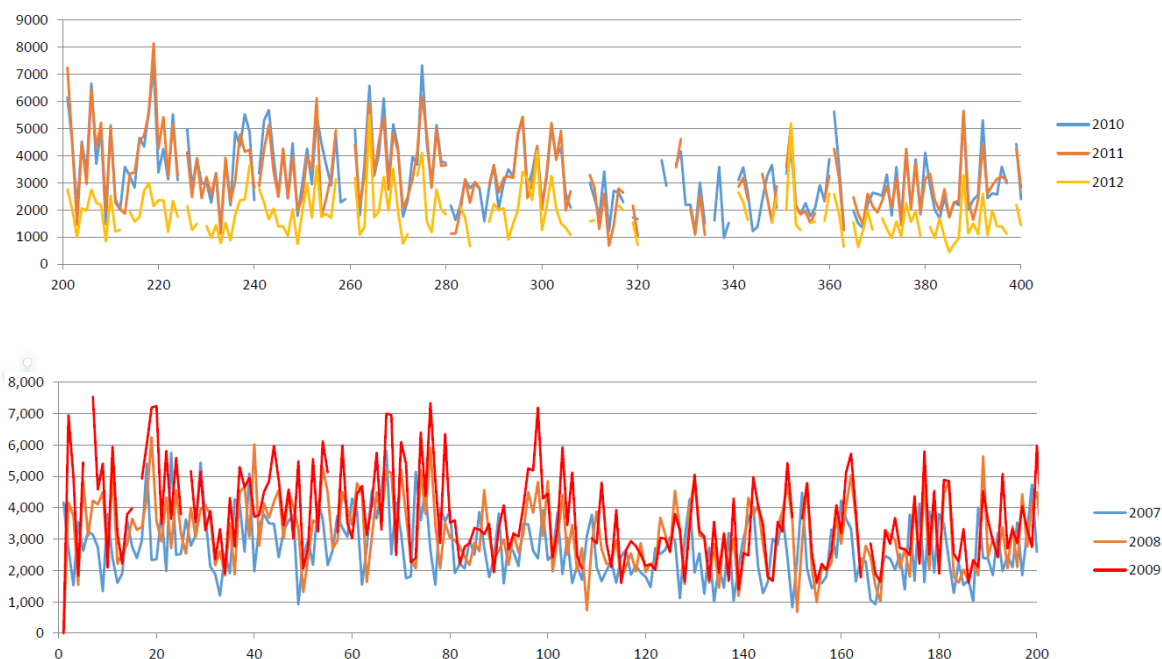


Figura 12: producciones de árbol individual en el MUP 101 de Segovia durante 2010-2012 (arriba) y 2007-2009 (abajo).

4.2.c.2: CKUET entre resina mt y resina-taladro empleando como variables auxiliares imágenes Landsat correspondientes al año anterior al de producción de resina ($n-2$)

Los resultados del cokrigado de resina mt y resina taladro empleando como variables auxiliares las reflectancias Landsat registradas dos años antes al de la producción de resina se muestran en la tabla 9.

El modelo ajustado presenta un error medio cuadrático mayor al ajustado con las reflectancias del año $n-1$. Ninguna reflectancia resulta significativamente correlacionada con la producción de resina dos años después.

Tabla 9 resultados deL cokrigado efectuados entre resina mt y resina taladro utilizando como variables auxiliares las reflectancias correspondientes a las regiones azul, verde, roja, infrarrojo cercano e infrarrojo medio de dos años anteriores al de producción de resina.

Covariable	% VExy	% VEt	%VNE	SESGO (g)	EMC relativo (%) ABSOLUTO (g)	$[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / n\sigma^2$	$\beta/p\text{-value}$ reflectancias (n-2)
Resina-taladro (g/árbol)	63.2	17.2	19.6	-3.9	28.3% 1171	1.58	B1 -0.29/ 0.31 B2 0.51/ 0.35 B3 -0.20/ 0.41 B4 -0.06/ 0.45 B5 -0.26/ 0.35 B7 0.27/0.31

VExy, VEt: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacial y temporal respectivamente, VNE: varianza no explicada, EMC. Error medio cuadrático absoluto y relativo, $[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción.

5.- Resumen de resultados:

En la tabla 10 se presentan a modo de resumen los resultados de todos los modelos elaborados.

Tabla 10: resumen de las características de los diferentes CKUET realizados: porcentaje de varianza explicada, sesgo, error medio cuadrático, estadístico de bondad de ajuste del modelo y coeficientes y p-values de las variables auxiliares del modelo

V.auxiliares	% VExyt	%VNE	SESGO (g)	EMC relativo (%) ABSOLUT O (g)	$[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / n\sigma^2$	$\beta/p\text{-value}$
Orientación						
Datos 1998-2020	84.6	15.4	-3.9	1118	1.5	-0.11/0.01
Orientación 2012-2020	74.7	25.3	-8.8	1191	2.2	-0.22/0.0001
Datos 1998-2020. Teledetección año n	80	20	-8.3	1125	1.7	B2:-0.76/0.0005 B3:0.86/0.0008 B4:0.11/0.1 B5:0.14/0.26 B7-0.24/0.01
Datos 2012-2020. Teledetección año n	64.7	35.3	11.2	1267.9	1.4	B2:-0.67/0.009 B3:0.66/0.011
Datos 1998-2020 Teledetección año n-1	75.3	24.7	-4.7	1123	1.6	B1:-0.32/0.026 B2:0.59/0.0006 B7:-0.26/0.005
Datos 1998-2020 Teledetección año n-2	80.4	19.6	-3.9	1171	1.6	B1 -0.29/ 0.31 B2 0.51/ 0.35 B3 -0.20/ 0.41 B4 -0.06/ 0.45 B5 -0.26/ 0.35 B7 0.27/0.31

VExyt: porcentaje de la varianza explicada por la correlación espacio temporal, VNE: varianza no explicada, EMC. Error medio cuadrático absoluto y relativo, $[p(Z(s_0,t_0)) - Z(s_0,t_0)]^2 / \sigma^2$: indicador de la bondad de ajuste, en el numerador diferencia al cuadrado de predichos menos observados y en el denominador, varianza teórica de la predicción.

Inicialmente no se emplearon los datos de 1998 y 1999 por la imposibilidad de conseguir un adecuado ajuste de los variogramas empíricos a los modelos teóricos utilizados, sin embargo, tras extraer del conjunto de datos las observaciones de resina obtenida con métodos diferentes al de pica con corteza, ha sido posible ajustar los variogramas; y los resultados son coherentes con los obtenidos anteriormente. El error medio cuadrático disminuye y la varianza explicada se incrementa en los modelos que incluyen un mayor número de observaciones. El sesgo también disminuye ligeramente en los modelos elaborados con un mayor número de datos.

Comparando los modelos elaborados con más observaciones, el CKUET entre resina mt y resina y orientación como variable auxiliar es el modelo que presenta un menor error y en el que la correlación espacio temporal explica un mayor porcentaje de varianza, si bien es cierto que apenas hay diferencia entre este modelo y el realizado con reflectancias correspondientes al año de producción.

6.-Conclusiones:

Se ha modelizado la producción de resina por árbol en el área de estudio, utilizando variables dasométricas y ambientales y las predicciones presentan un error medio cuadrático superior al 25% sobre la media. De las covariables utilizadas en los cokrigeados, la resina obtenida con taladro seguida del número de caras y de la edad han sido las dos variables que más varianza explican de la variable resina mt comparadas con otras como diámetro normal, altura o ratio altura de copa/altura total.

De las variables ambientales analizadas, la orientación ha resultado ser la variable del terreno con mayor significación estadística. La zona de estudio es predominantemente llana, las pendientes son suaves. Los resultados muestran un máximo de producción en las laderas orientadas al Este y otro en el Oeste, si bien este segundo es menos claro. La significación estadística es más débil cuando se incluyen los datos de 1998 y 1999 y ese efecto Este Oeste no es tan claro, si bien en ambos modelos se observa claramente que las producciones en conjunto son más elevadas en las orientaciones Este que en las Oeste.

El uso de las reflectancias Landsat como variables auxiliares aporta información sobre qué factores pueden estar influyendo en la producción de resina. Se ha encontrado una correlación significativa con las bandas roja y verde, positiva y negativa respectivamente, que parece estar indicando una mayor producción de resina por árbol con densidades menores. La banda 7 de Landsat, correspondiente a región del espectro del infrarrojo medio, presenta una correlación negativa con la producción de resina, que puede interpretarse como una mayor producción de resina individual cuando existe humedad en el terreno y en los tejidos vegetales, que absorben la radiación en esta banda del infrarrojo. En conjunto los resultados indican que la mayor producción de resina tiene lugar cuando el árbol cuenta con suficientes recursos de agua, luz y nutrientes a su disposición para poder producir.

Además, el análisis de la producción de resina en un año dado con las reflectancias Landsat del año en curso o de años anteriores arroja información sobre el estado fisiológico de la masa, sugiriendo que la masa productora está estresada, más cuanto más produce, y el año anterior su estado fisiológico es mejor, con una mayor cantidad de clorofila en funcionamiento. El estado fisiológico de la masa se va

deteriorando con la resinación. Estos resultados incitan a estudiar si incluir algún periodo de descanso durante el periodo de resinación del árbol podría recuperar producciones con tendencia decreciente.

La inclusión de los datos de 1998 y 1999 en el modelo ha supuesto una disminución del error medio cuadrático absoluto, en el sesgo del modelo, y una mayor varianza explicada.

8.- Bibliografía

- Azcón-Bieto, J., y Talon, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda Ed. Mc Graw Hill/Interamericana de España
- Hood S, Sala A. 2015. Ponderosa pine resin defenses and growth: metrics matter. *Tree Physiology*, 35, 1223-1235.
- Mafakheri A, Siosemardeh A, Bahramnejad B, Struik PC, Sohra Y. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian journal of crop science*.
- Montes F, Hernandez MJ, Cañellas I. 2006 *A geostatistical approach to cork production sampling estimation in Quercus suber forests. Canadian Journal of Forest Research* 35(12) pp 2787-2796.
- Moreno-Fernández D, Hernández L, Sánchez-González M, Cañellas I, Montes F. 2016. *Space-time modeling of changes in the abundance and distribution of tree species. "Forest Ecology and Management"* v 372; pp206-216.
- Rodríguez-García A, Martín JA, López RA, Mutke S, Pinillos F, Gil LA. 2015. *Influence of climate variables on resin yield and secretory structures in tapped Pinus pinaster Ait. in central Spain. Agricultural and Forest Meteorology*. 202: 83-93.
- Rodríguez-García A, López RA, Martín JA. Pinillos F.; Gil LA. 2014. Resin yield in *Pinus pinaster* is related to tree dendrometry, stand density and tapping-induced systemic changes in xylem anatomy. *For Ecol Manag* 313: 47-54.
- Rong-hual L, Pei-pol G, Baumz M, Grand S, Ceccarelli S. 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural sciences in China*.
- Sanchez RA, Hall AJ, Trapani N, et al. 1983. Effects of water stress on the chlorophyll content, nitrogen level and photosynthesis of leaves of two maize genotypes. *Photosynth Res* 4, 35-47