

Producto: Mapas de potencial de resinación basados en modelos de producción.

Actividad: Mapas de potencial de resinación basados en modelos de producción.

Entregables:

- Metodología para la elaboración de mapas base para potenciales de resinación.
- Mapas de potencial de resinación en las comarcas resineras del espacio SUDOE.
- Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera portuguesa del espacio SUDOE.

Actividad: Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera española basados en modelos de producción.

- Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera española del espacio SUDOE (Coca – Cuéllar).

Actividad: Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera francesa basados en modelos de producción.

- Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera francesa del espacio SUDOE.



Metodologia para elaboração de mapas de potencial de resinagem

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

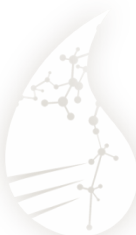
2 ESCALA NACIONAL

3 ESCALA LOCAL

MARÇO DE 2021



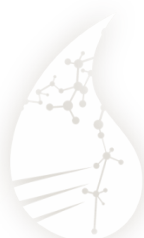
www.sust-forest.eu





ÍNDICE

1. OBJECTIVOS E ABORDAGENS METODOLÓGICAS.....	1
2. ESCALA NACIONAL E ESCALA LOCAL	3
3. ETAPAS DE TRABALHO.....	4





1. OBJECTIVOS E ABORDAGENS METODOLÓGICAS

Este documento tem como objectivo estabelecer uma base metodológica para calcular o mapa do potencial de resinagem do pinheiro bravo no continente Português, procurando entre outras variáveis, integrar dados de modelos de produção desenvolvidos pelo INIA (Instituto Nacional de Investigacion Agraria, Madrid).

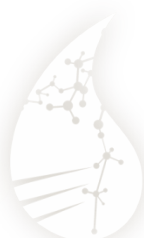
Entende-se por potencial de resinagem (PR) a capacidade máxima dum determinado pinhal produzir resina, medida em kg/ha, o que por sua vez depende dum conjunto de factores, que poderemos agregar em 3 grupos:

- Factores edafoclimáticos:
 - Solos,
 - Clima.
- Características do pinhal:
 - Densidade,
 - Dimensão das árvores (dap, altura, copa),
- Técnicas e práticas de resinagem.

Numa abordagem completa, para elaborar um mapa de PR seriam então precisos pontos de amostragem representativos deste conjunto de variáveis com dados de produção obtida, o que não existe em Portugal. Em alternativa propomos uma abordagem adaptada aos dados existentes que estabeleça a partir desses dados a melhor estimativa de PR, a qual deverá ser validada ou corrigida no futuro, com base em dados reais. Esta abordagem assenta em dois pilares:

- Cartografia – cruzamento cartográfico das variáveis territoriais de forma a estabelecer manchas homogéneas quanto a essas variáveis às quais se atribuirá um valor de PR, que será a melhor estimativa face aos dados existentes. Para esta estimativa deverá recorrer-se aos modelos de produção desenvolvidos pelo INIA e a outros trabalhos semelhantes, e também a dados empíricos acumulados na experiência dos resineiros.
- Dados de produção – são o principal factor limitante deste modelo porque á partida serão muito escassos. Mas deverá no futuro adensar-se a malha destes pontos de amostragem. Estes dados permitirão ir corrigindo gradualmente as estimativas da cartografia inicial e assim ir aumentando o rigor do mapa de PR.

Numa primeira abordagem quanto á influência destes factores poderemos fazer alguns comentários:





Factores edafoclimáticos

Os solos terão uma influência que se reflecte em termos estruturais na possibilidade dum bom desenvolvimento vegetativo das árvores e também em termos conjunturais em garantir recursos hídricos durante o verão que permitam uma produção regular de resina. Geralmente os solos mais arenosos e com proximidade de lençol freático são os que garantem melhor estas duas condições, como acontece nalgumas zonas das areias litorais entre Pataias e Marinha Grande.

Os solos mais argilosos embora tenham uma maior capacidade de retenção de água podem limitar o seu fornecimento em quantidade suficiente durante o verão. Este facto talvez explique uma certa reserva dos resineiros quanto a solos argilosos.

Um Ph dos solos alto e a presença de calcário activo será à partida um factor que diminui o PR pelo facto do afectar o crescimento do pinheiro bravo.

Quanto ao clima as questões relacionadas com a regularidade de água parecem ser bastante importantes:

- A influência atlântica melhora a produtividade por amenizar a secura estival e garantir uma maior regularidade produtiva,
- Valores de precipitação anual abaixo dos 600 mm também são restritivos.

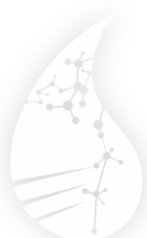
É claro que para além da influência isolada dos factores deverá ser considerado a sua interacção: por ex. numa zona de areia com lençol freático poderá compensar uma precipitação anual baixa.

Características do pinhal

Em primeiro lugar interessa considerar a idade do pinhal, apenas produzirá resina a partir dum DAP de 20 com o que se alcança entre os 15-30 anos conforme a qualidade das estações.

Por outro lado a densidade é um factor determinante e aqui haverá que considerar que o valor de PR corresponderá a um valor de produção/ha que por sua vez corresponderá a determinada densidade de pés/ha para cada classe de idade. Ou seja acima ou abaixo desse valor a produção será mais baixa do que o PR.

Para além disso o vigor do pinhal e a dimensão das copas serão outros factores importantes.





Técnicas e práticas de resinagem

A Técnica de resinagem por um lado e a sua prática são elementos da máxima relevância para a produção obtida.

Como referência iremos considerar à partida a técnica tradicional da zona centro com púcaro e renovas de 20/ 20 dias.

2. ESCALA NACIONAL E ESCALA LOCAL

Face á escassez de dados disponíveis com representatividade nacional, sempre que existirem dados mais detalhados a nível local deverão fazer-se mapas menos abrangentes mas mais detalhados e precisos.

Esta questão poderá colocar-se a dois níveis:

- Informação cartográfica da distribuição do pinheiro bravo e das suas classes de idade.
- Pontos de amostragem com dados de produção/ha.

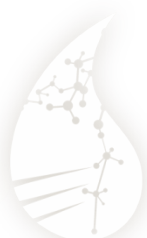
Quanto ao primeiro nível, o IFN6 dispõe de informação nacional com a presença do pinheiro recolhida numa malha de 500 x 500 m, que não discrimina a classe de idade. Neste caso não poderemos mapear com segurança o potencial de resinagem actual porque não sabemos até que ponto essas áreas de pinhal dispõem de pinheiros resináveis – os dados do IFN6 dizem-nos em termos estatísticos qual a média das classes de idade do pinhal mas não no caso concreto de cada ponto cartográfico.

Por outro lado dispomos de dados cartográficos mais detalhadas para os municípios de Penela e Proença a nova, resultante duma cartografia de ocupação de solo muito mais detalhada e resultante dum trabalho de caracterização de campo exaustivo. Nessa cartografia discrimina-se as classes de idade do pinhal bravo pelo que se poderá avaliar em cada caso concreto o potencial de resinagem á data da cartografia.

Assim propomos que para o mapas a realizar no âmbito deste trabalho sejam consideradas duas abordagens complementares, que se distinguem pelo grau de detalhe de informação cartográfica sobre as características dom pinhal:

- Escala nacional – dados do inventário nacional IFN6 malha de 500x500 não distingue classe de idade.
- Escala local – dados mais detalhados em termos de rigor cartográfico e com distinção da classe de idade.

Ainda quanto ao segundo aspecto sobre a existência de pontos de amostragem, dado que actualmente a informação é muito escassa, não existe matéria suficiente para fazer grandes distinções, mas no futuro à medida que se adensar a malha de amostragem também poderá ser conveniente distinguir abordagens à escala nacional e local.

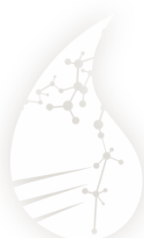




3. ETAPAS DE TRABALHO

O trabalho realizado foi estruturado em quatro etapas de trabalho.

- **1ª ETAPA** – Com base nos dados disponíveis, no modelo de produção de resina desenvolvido pelo INIA, e dados empíricos da resinagem em Portugal, foram estabelecidas as variáveis cartográficas relevantes e construídos os princípios duma abordagem metodológica que procura tirar partido da informação existente num mapa de potencial de resinagem inicial integrado num Sistema de Informação Geográfica. estruturado e preparado para receber informação futura de forma a melhorar progressivamente a sua representatividade.
- **2ª ETAPA** – adaptação e afinação do S.I.G. a casos de estudo portugueses em duas abordagens complementares:
 - Escala nacional – com base nos dados do IFN6,
 - Escala local – com base em cartografia mais detalhada adaptada a Proença a Nova e Penela.
- **3ª ETAPA** - Coordenação dos trabalhos cartográficos feitos no âmbito desta matéria pelo INIA e pelo CNPF-CRPF Nouvelle Aquitaine.
- **4ª ETAPA** – elaboração final do modelo cartográfico para avaliação do potencial de resinagem no espaço SUDOE integrando os casos de estudo Portugueses, Espanhol e Português realizados no âmbito do SustForest+.





Mapas de Potencial de Resinagem – Portugal Continental

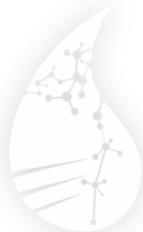
MARÇO DE 2021





ÍNDICE

1. ASPECTOS INTRODUTÓRIOS.....	1
2. ESCALA NACIONAL.....	2
2.1. INFORMAÇÃO DE BASE.....	2
2.2. TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO DE BASE E CÁLCULO DO MAPA DE POTENCIAL DE RESINAGEM	3
3. ESCALA LOCAL.....	6





1. ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

Este documento tem como objectivo aplicar ao continente Português a abordagem metodológica estabelecida descrita no entregável 1.2.3.1. para realizar um mapeamento do potencial de resinagem do pinheiro bravo no continente Português.

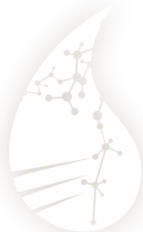
Foram realizados mapas de acordo com duas abordagens complementares, que se distinguem pelo grau de detalhe de informação cartográfica sobre as características dom pinhal:

- Escala nacional – dados do inventário nacional IFN6 malha de 500x500 não distingue classe de idade.
- Escala local – dados mais detalhados em termos de rigor cartográfico e com distinção da classe de idade.

Quanto á escala nacional, o IFN6 dispõe de informação nacional com a presença do pinheiro recolhida numa malha de 500 x 500 m, que não discrimina a classe de idade. Neste caso não poderemos mapear com segurança o potencial de resinagem actual porque não sabemos até que ponto essas áreas de pinhal dispõem de pinheiros resináveis – os dados do IFN6 dizem-nos em termos estatísticos qual a média das classes de idade do pinhal mas não no caso concreto de cada ponto cartográfico.

Por outro lado, para a escala local, dispomos de dados cartográficos mais detalhadas para os municípios de Penela e Proença a nova, resultante duma cartografia de ocupação de solo muito mais detalhada e resultante dum trabalho de caracterização de campo exaustivo. Nessa cartografia discrimina-se as classes de idade do pinhal bravo pelo que se poderá avaliar em cada caso concreto o potencial de resinagem á data da cartografia.

Este documento corresponde á memória descritiva das cartografias produzidas. Quanto ás cartografias produzidas estão incluídas num Sistema de Informação Geográfica em formato shapefile.



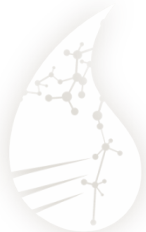


2. ESCALA NACIONAL

2.1. INFORMAÇÃO DE BASE

A informação cartográfica de base considerada nesta abordagem foi a seguinte:

- Características do pinhal – dados do IFN6, referente a 2015, com uma malha de amostragem de 500 x 500 m, e que discrimina se existe ou não pinheiro bravo mas não indica a sua classe de idade. A informação é fornecida num ficheiro de pontos em shapefile em ETRS89.
- Factores edafoclimáticos – dados do Atlas do Ambiente, escala 1:1.000.000, A informação é fornecida em linhas poligonais em shapefile e em coordenadas geográficas. Foram analisadas as seguintes 8 cartas temáticas:
 - Solos – classificação da FAO
 - Ph do solo
 - Litologia
 - Precipitação anual
 - Días de precipitação anual
 - Humidade relativa
 - Temperatura media anual
 - Hipsometria
- Pontos de amostragem – informação recolhida durante o verão de 2020 em Ourém e Proença a Nova em 1641 pinheiros com 1854 bicas em 3 situações distintas:
 - ⇒ Avaliação precoce – método do INIA – em 60 pinheiros distribuídos por 6 localizados em Ourém; solos arenosos - cambissolos distrícos ácidos. Esta medição deveria ter sido feita em Julho, mas devido a problemas impostos pela pandemia só foi realizada em Setembro. Para uma melhor comparação com as medições feitas em Espanha e França deveria ter sido usada a mesma pasta o que não foi possível pelo que se usou a pasta tradicional usada em Portugal
 - ⇒ Medição parcial – 2 pesagens em Junho e Julho até a altura em que o pinhal foi destruído por um incêndio em Agosto – em 269 pinheiros num total de 298 bicas em Proença a Nova; Litossolos de Xistos e grauvaques. Medições de: resina; dap altura; georeferenciação em GPS.
 - ⇒ Medição total – 3 pesagens em Junho Agosto e Novembro – em 1373 pinheiros num total de 1556 bicas em 5 locais situados em Ourém; solos arenosos - cambissolos distrícos. Medições de: resina; dap altura; georeferenciação em GPS.





2.2. TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO DE BASE E CÁLCULO DO MAPA DE POTENCIAL DE RESINAGEM

Considerou-se que apenas existe potencial de resinagem nas zonas onde actualmente existe algum pinhal bravo de acordo com os dados do IFN6 – em concreto pontos de amostragem em que o pinheiro bravo está considerado no IFN6 como espécie principal o que totaliza 710 440 ha. Ou seja considerou-se que em locais onde actualmente não existe pinhal embora teoricamente até possa existir um bom potencial edafoclimático para a resinagem só daqui a mais de 20 anos após uma eventual plantação se poderia manifestar esse potencial. Por outro lado, atendendo á grande representatividade geográfica do pinhal em Portugal, se esta espécie não existe nalgum local significa que existirá alguma razão que justifica a sua não existência, por isso não interessará muito desperdiçar nesses locais esforços de análise.

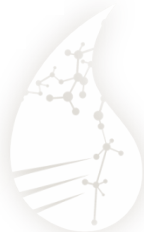
Para o tratamento da informação cartográfica após a análise das 8 cartas temáticas IFN transformou-se a informação de base que estava em pontos em informação raster, considerando-se uma quadrícula de 500 x 500 m com a informação do respectivo ponto – assim obteve-se uma cartografia raster da distribuição do pinheiro bravo a nível nacional que depois foi cruzada cartograficamente com as outras cartas temáticas.

Quanto aos factores edafoclimáticos após a análise das 8 cartas temáticas do Atlas do Ambiente, e confrontação dessa informação com o saber empírico acumulado em décadas de resinagem, concentramos a informação relevante em 4 cartas temáticas:

- ⇒ Influência atlântica – 2 classes - com e sem influência atlântica – esta definição foi feita com base numa interpretação da carta hipsométrica.
- ⇒ Carta de precipitação anual – 4 classes – agregando as classes do Atlas do Ambiente da seguinte forma:
 - 0-500 mm
 - 500 – 800 mm
 - 800 – 1000 mm
 - >1000 mm
- ⇒ Carta de solos – 10 classes – as classes de solos da FAO a partir do Atlas do Ambiente.

nº	classes solos FAO
1	FLUVISSOLOS
2	REGOSSOLOS
3	LITOSSOLOS
4	RANKERS
5	VERTISSOLOS
6	SOLONCHAKS
7	CAMBISSOLOS
8	LUVISSOLOS
9	PODZOIS
10	PLANOSSOLOS

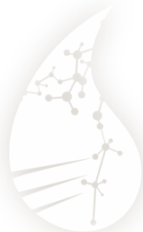
- ⇒ Carta do ph (acidez /alcalinidade)– 3 classes – acido, alcalino e neutro.





Em termos de cruzamento cartográfico seguiu-se o seguinte procedimento:

- 1.- A partir do mapa de pontos do IFN6 foram seleccionadas todas as amostras em que existe Pinus pinaster. E dentro destas as amostras em que é a espécie principal.
- 2 – transformar o mapa de pontos das amostras seleccionadas do IFN6 em mapa raster com quadrículas de 25 ha.
- 3.- da informação inicial do Atlas do Ambiente foram seleccionadas e preparadas para cruzamento as 4 cartas temáticas acima referidas.
- 4.- Realização da intersecção das cartas temáticas dos factores edafoclimáticos com a carta raster do P. Pinaster.
- 5.- Do resultado desta intersecção obteve-se um número de estratos por combinação dos parâmetros seleccionadas, a que se seguiu a eliminação dos estratos sem relevância devido à sua escassa representatividade.
- 6.- A partir de la estratificação definitiva, obtida no ponto 6, procedeu-se à atribuição dum valor potencial de resinagem a cada estrato. Para isso recorreu-se aos dados de amostragem existentes e toda a informação existente. Com esta informação devidamente consolidada será obtido o mapa de potencial de resinagem final.





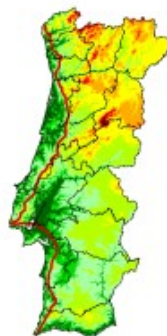
Na fig seguinte apresenta-se uma imagem ilustrativa do cruzamento cartográfico realizado.

Cruzamento cartográfico para obtenção do Mapa de potencial de Resinagem Portugal – Escala nacional

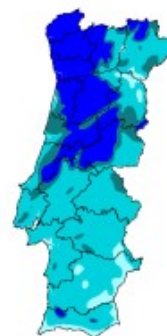
**Distribuição pinheiro
bravo IFN16**



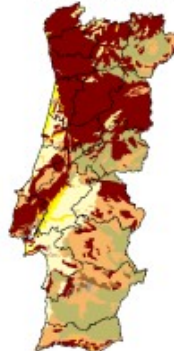
Influência atlântica



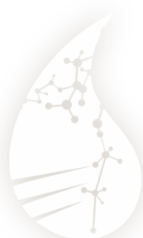
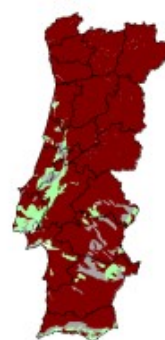
precipitação



Tipo de solos (FAO)



ph





3. ESCALA LOCAL

A informação cartográfica de base neste caso corresponde a uma cartografia mais detalhada que descreve as classes de idade e o grau de cobertura do pinheiro bravo.

Esta abordagem mais local foi aplicada ao concelho de Penela com uma área total de 13 000 ha.

Para avaliar o potencial de resinagem foi avaliado em cada mancha homogénea de ocupação de solo com pinheiro bravo a sua classe de idade, considerando-se que existe um potencial de resinagem actual, quando existem pinheiros com mais de 20 anos e futuro nas classes de pinhal jovem e inicial. Concretamente considerou-se em termos cartográficos:

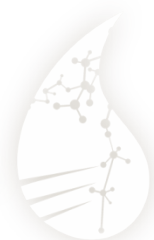
- Potencial de resinagem actual – pinhal adulto
- Potencial de resinagem médio prazo – pinhal jovem
- Potencial de resinagem longo prazo – pinhal inicial

O potencial de resinagem atribuído a cada espécie de ocupação de solo foi o seguinte:

ESPECIE ocupação de solo	SIMBOLO	potencial resinagem		
		actual	médio prazo	longo prazo
0	0			
MATO C/ PINHEIROS	MP			100%
PINHEIRO BRAVO	P	100%		
PINHEIRO BRAVO BASTIO	PB	50%	50%	
PINHEIRO BRAVO CORTE	PC	100%		
PINHEIRO BRAVO FINO	PF		100%	
PINHEIRO BRAVO INICIAL	PI			100%
PINHEIRO BRAVO FINAL	PJ	100%		

Para analisar em cada mancha homogénea de ocupação de solo a classe de idade de pinhal aí existente e o correspondente potencial de resinagem foram criados os seguintes campos:

campo	designação	explicação
cli_R_ad	Classe de idade P. Pinaster Adulto	% de área ocupada com pinhal nas várias classes de idade
cli_R_jo	Classe de idade P. Pinaster jovem	
cli_R_in	Classe de idade P. Pinaster inicial	
pr_A	potencial de resinagem Actual	% de área com potencial de resinagem: actual (pinhal adulto), médio prazo (pinhal jovem, longo prazo (pinhal inicial)
pr_FM	potencial de resinagem Futuro a Médio Prazo	
pr_FL	potencial de resinagem Futuro a Longo Prazo	
arprA	área (ha) com potencial de resinagem Actual	% área em ha com potencial de resinagem: actual (pinhal adulto), médio prazo (pinhal jovem, longo prazo (pinhal inicial)
arprM	área (ha) com potencial de resinagem Futuro a Médio Prazo	
arprL	área (ha) com potencial de resinagem Futuro a Longo Prazo	
cod_pra	classes de potencial de resinagem Actual	classes de % área de área com potencial de resinagem actual, médio e longo prazo: 0 - inexistente (< 10%), 1 - baixo (10-30%), 2 - médio (30-60%), 3 alto (>60%)
cod_prm	classes de potencial de resinagem Futuro a Médio Prazo	
cod_prL	classes de potencial de resinagem Futuro a Longo Prazo	



Com base nos 3 últimos campos foram editadas 3 cartas temáticas que representam a distribuição territorial o potencial de resinagem actual, a médio e longo prazo.

A quantificação da área total com potencial de resinagem é a seguinte:

potencial de resinagem em Penela

idade 2019	potencial resinagem	área ha
>20 anos	actual	588
5-20 anos	médio prazo	233
<5 anos	longo prazo	106
	total	927

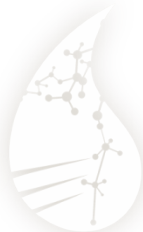
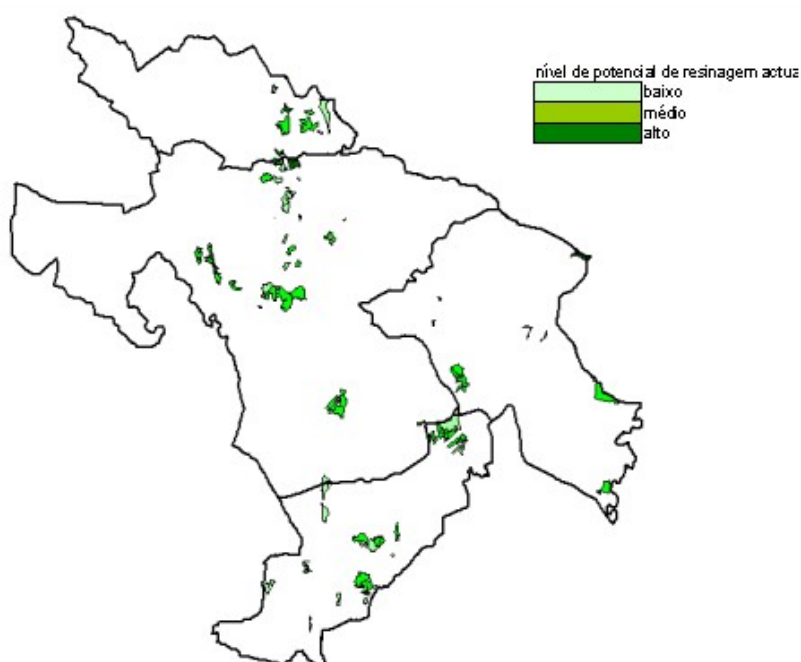
Numa outra abordagem poderá interessar detalhar, dentro da área com potencial de resinagem actual que é de 588 ha, qual o nível desse potencial considerando o grau de cobertura do pinhal nessa área de acordo com as seguintes classes:

- Baixo - Cobertura de pinhal 20-40%;
- Médio - Cobertura de pinhal 50-80%;
- Alto - Cobertura de pinhal > 80%.



No mapa ilustrativo seguinte faz-se uma ilustração do nível de potencial de resinagem actual.

Escala local - Mapa do Potencial de resinagem actual - Penela





síntese e análise dos mapas de potencial de resinagem das regiões resineiras do espaço SUDOE

1 OBJECTIVOS E PONTO DE SITUAÇÃO

2 METODOLOGIAS ADOPTADAS E MAPAS A OBTER EM CADA PAÍS

MARÇO DE 2021





1. OBJECTIVOS E PONTO DE SITUAÇÃO

Este documento tem como objectivo Documento de síntese e análise dos mapas de potencial de resinagem das regiões resineiras do espaço SUDOE.

Pretende-se normalizar uma avaliação do potencial de resinagem nos três países integrados no projecto (Portugal, Espanha e França), considerando apenas o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), porque para além de ser a principal espécie produtora de resina europeia é também uma espécie comum aos três países. Em relação às outras espécies produtoras de resina europeias, que não serão consideradas, podendo fazer-se os seguintes comentários:

- Pinheiro Manso (*Pinus pinea*) – é explorado em Portugal com um nível de produtividade significativo, ao contrário do Pinheiro bravo está associado a áreas de grande propriedade e foi considerado “agrícola” pelo que tem beneficiado dos apoios da PAC e a sua área tem crescido bastante. Poderá ter interesse mapear no futuro
- Pinheiro do Alepo – poderá ter interesse mapear numa hipótese de expansão da resinagem para Este; Sul de França, Itália, Grécia..
- Pinheiro silvestre – nível de produtividade muito baixo, apenas rentável em utilizações muito específicas. Não parece ter interesse mapear

Nesta abordagem e numa perspectiva de normalização da avaliação do potencial de resinagem haverá que considerar um conjunto de diferenças significativas entre os três países, em termos dos seguintes aspectos:

- Histórico e Situação actual da resinagem
- Características edafoclimáticas;
- Organização administrativa
- Propriedade da terra e estrutura fundiária
- Dados disponíveis

Assim as metodologia cartográficas e os mapas a obter para cada país terão que ser diferentes, procurando-se contudo uma normalização de tratamento de dados para poder tanto quanto possível estabelecer comparações entre regiões resineiras.

De referir que a informação respeitante a Portugal foi desenvolvida pelo INIAV e no que se refere aos mapas de potencial de resinagem em regiões espanholas e francesas foram elaborados no âmbito do projecto SustFoprestPlus pelo INIA (Espanha) e pelo CNPF-CRPF Nouvelle Aquitaine.

Nesta fase do projecto é possível fazer uma síntese e análise dos mapas realizados, que será completada com a informação adicional a desenvolver até ao final do projecto. De facto no ano de 2020 o impacto da pandemia provocou atrasos na realização de alguns trabalhos, que estão a ser recuperados nesta fase final do projecto.



1. METODOLOGIAS ADOPTADAS E MAPAS A OBTER EM CADA PAÍS

1.1. PORTUGAL

- **Histórico e Situação actual da resinagem**

A meados do sec. XX chegou a ser o 3º país produtor mundial de resina com um máximo histórico de 140 000 t na campanha 1974/75 mas a partir de da década de 1990 verificou-se o um declínio constante até se fixar, há cerca de 10 anos nas 6-8 000t/ano e parecia começar a surgir uma pequena recuperação entre 2014-2017, mas os fogos de 2017 causaram prejuízos em cerca de 20% da área resinada e a produção anual recuou para as 6000t/ano. A área resinada é maioritariamente privada e nunca houve um programa de apoio à resinagem¹.

- **Características edafoclimáticas das áreas resineiras;**

O pinhal resineiro ocorre em mais de 2/ 3 do país – Centro, Norte e faixa atlântica Sul, cruzando uma grande diversidade climáticas (desde litoral atlântico a interior mais continental) e de solos (areias, Xistos e granitos)

- **Propriedade da terra e estrutura fundiária**

Propriedade privada minifundária e também pública

- **Dados disponíveis**

- Características do pinhal – dados do IFN6, referente a 2015, com uma malha de amostragem de 500 x 500 m, e que discrimina se existe ou não pinheiro bravo mas não indica a sua classe de idade. A informação é fornecida num ficheiro de pontos em shapefile em ETRS89.
- Factores edafoclimáticos – dados do Atlas do Ambiente, escala 1:1.000.000, A informação é fornecida em linhas poligonais em shapefile e em coordenadas geográficas. Foram analisadas as seguintes 8 cartas temáticas:
 - o Solos – classificação da FAO
 - o Ph do solo
 - o Litologia
 - o Precipitação anual
 - o Días de precipitação anual
 - o Humidade relativa
 - o Temperatura media anual
 - o Hipsometria

¹ Em 2019 verificou-se o primeiro programa de apoio à resinagem “resineiro vigilante” financiado pelo Fundo Florestal Permanente.



- Escassa informação com pesagens que forneçam dados dados de produção por ha. De qualquer forma existe um saber empríico dos resineiros que se proicurou incorporar. Para além disso recorreu-se a medições feitas no âmbito do projecto em Pontos de amostragem – informação recolhida durante o verão de 2020 em Ourém e Proença a Nova em 1641 pinheiros com 1854 bicas em 3 situações distintas:
 - ⇒ Avaliação precoce – método do INIA – em 60 pinheiros distribuídos por 6 localizados em Ourém; solos arenosos - cambissolos districtos acidos. Esta medição deveria ter sido feita em Julho, mas devido a problemas impostos pela pandemia só foi realizada em Setembro. Para uma melhor comparação com as medições feitas em Espanha e França deveria ter sido usada a mesma pasta o que não foi possível pelo que se usou a pasta tradicional usada em Portugal
 - ⇒ Medição parcial – 2 pesagens em Junho e Julho até a altura em que o pinhal foi destruído por um incêndio em Agosto – em 269 pinheiros num total de 298 bicas em Proença a Nova; Litossolos de Xistos e grauvaques. Medições de: resina; dap altura; georeferenciação em GPS.
 - ⇒ Medição total – 3 pesagens em Junho Agosto e Novembro – em 1373 pinheiros num total de 1556 bicas em 5 locais situados em Ourém; solos arenosos - cambissolos dístricos. Medições de: resina; dap altura; georeferenciação em GPS.

Foram realizados mapas de acordo com duas abordagens complementares, que se distinguem pelo grau de detalhe de informação cartográfica sobre as características dom pinhal:

- Escala nacional – dados do inventário nacional IFN6 malha de 500x500 não distingue classe de idade.
- Escala local – dados mais detalhados em termos de rigor cartográfico e com distinção da classe de idade.

1.2. ESPANHA

- **Histórico e Situação actual da resinagem**

Espanha – o declínio não foi tão acentuado como em Portugal; produção actual é cerca de 30% da que existia há cerca de 50 anos (20 000t/ano actuais contra 60 000 t/ano acerca de 50 anos). Houve uma fase de grande declínio até cerca de 2010 com menos de 2000 t/ano, mas a partir de então tem-se verificado um crescimento regular até ao valor actual. A área resinada é maioritariamente pública e a recuperação recente da área resinada resultou de programas de apoio público para pagar prestações de serviços concretas relacionadas com a integração dos resineiros nos processos de defesa contra incêndios, sobretudo na Junta de Castilla Leon, tanto ao nível da vigilância e combate como em trabalhos de prevenção e gestão de combustíveis. Para além disso em Espanha a problemática dos incêndios nunca alcançou nada que seja comparável com a gravidade dos incêndios em Portugal em 2017.



- **Características edafoclimáticas das áreas resineiras;**

O pinhal resineiro Espanhol ocorre sobretudo na região de Castela Leão, estando maioritariamente associado a zonas planas de areia (antigas dunas) ocorrendo também em zonas montanhosas de xisto.

- **Propriedade da terra e estrutura fundiária**

Propriedade pública pertencente sobretudo a municípios de grande dimensão.

- **Dados disponíveis**

Existem muitos dados disponíveis de medições de produção recolhidos pelo INIA e CESEFOR

A cartografia realizada tira partido da ampla informação existência complementada por dados recentes obtidos através do método de “avaliação precoce” desenvolvido pelo INIA. Os dados estão a ser tratados com análise geoestatística.

1.2. FRANÇA

- **Histórico e Situação actual da resinagem**

Embora exista em França na região da Aquitânia a maior área florestal contínua da Europa, o certo é que a resinagem desapareceu a partir do final do século XX, embora tenha tido uma grande importância na primeira metade do século XX. Actualmente existem iniciativas locais como é o caso da Holiste empresa Holiste Laboratoire et developement, utilizando uma metodologia de extracção própria desenvolvida e melhorada desde 2010. Trata-se dum sistema produção desenvolvido por uma empresa privada que faz a exploração, destilação e comercialização de produtos derivados da resina natural, obtidos com pastas biológicas (sem ácido sulfúrico) e que são comercializadas com um maior valor acrescentado baseado nas características “verdes” da resina assim obtida.

De qualquer existe uma enorme possibilidade de expansão da resinagem nos pinhais da Aquitânia é muito grande pelo que interessa avaliar o seu potencial.

- **Características edafoclimáticas das áreas resineiras;**

A área de pinhal está concentrada numa vasta faixa costeira da Aquitânia de solos arenosos planos. São consideradas 3 tipos de estações florestais com características distinguíveis face à proximidade da costa: Duna – parte mais costeira; Mesófila – parte intermédia; Interior.

- **Propriedade da terra e estrutura fundiária**

Propriedade privada de grande dimensão.

- **Dados disponíveis**

Não Existem dados disponíveis de medições, mas foi realizado em 2020 uma recolha de dados em 200 parcelas com o método de “avaliação precoce” do INIA que permite fazer uma primeira aproximação do potencial de resinagem nas 3 estações florestais Existentes na Aquitânia.

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 1.5- Sistema de evaluación temprana de la producción de resina

Actividad 1.23. Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera española basados en modelos de producción



Entregable 1.24.1. Mapas de potencial de resinación en una comarca resinera española del espacio SUDOE

Autor/Responsable: INIA

Fecha entrega: 31/12/2020

**Interreg
Sudoe**

European Regional Development Fund



S0E2/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. 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

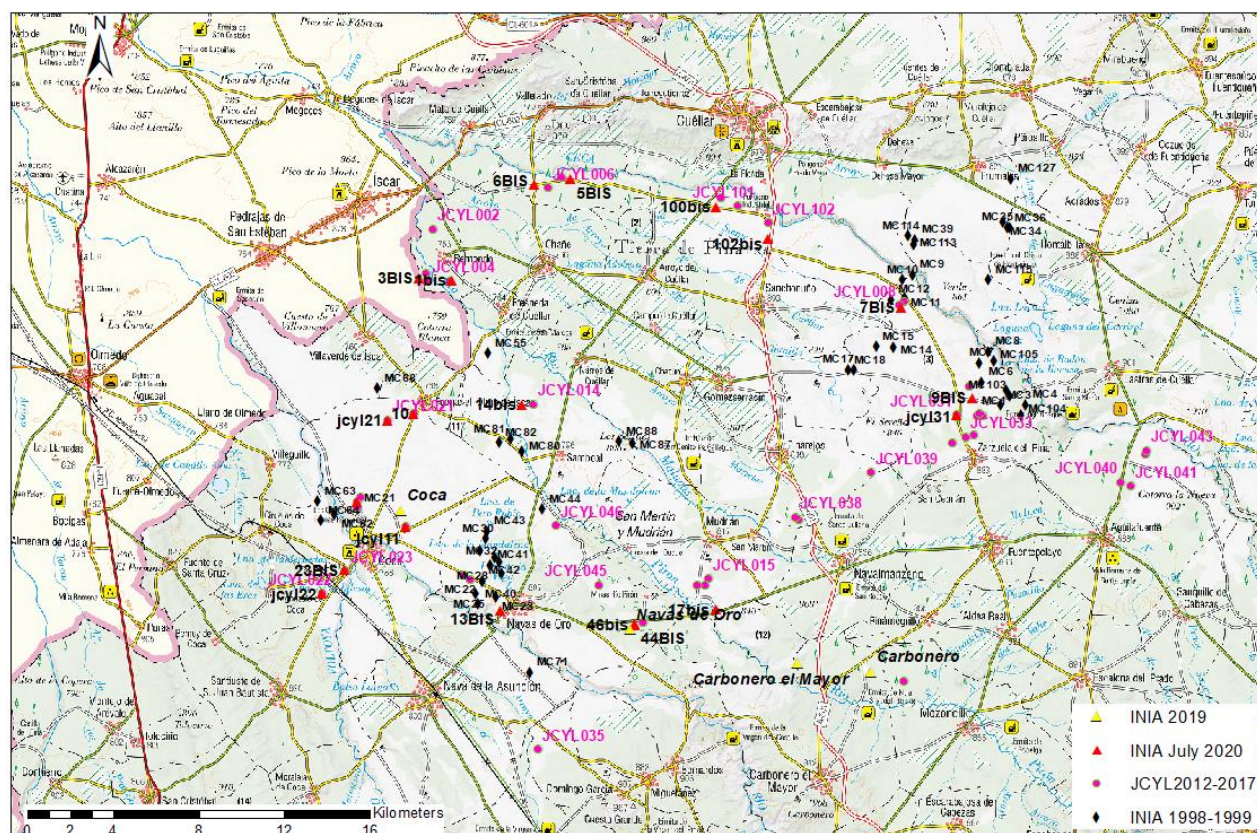


Figura 1: Mapa de situación de las parcelas: los triángulos amarillos y rojos representan parcelas en las que se ha medido resina mediante taladro en 2019 y 2020 respectivamente. Las parcelas instaladas por la JCYL en las que se ha medido resina obtenida por método tradicional entre 2012-2017 se representan 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.

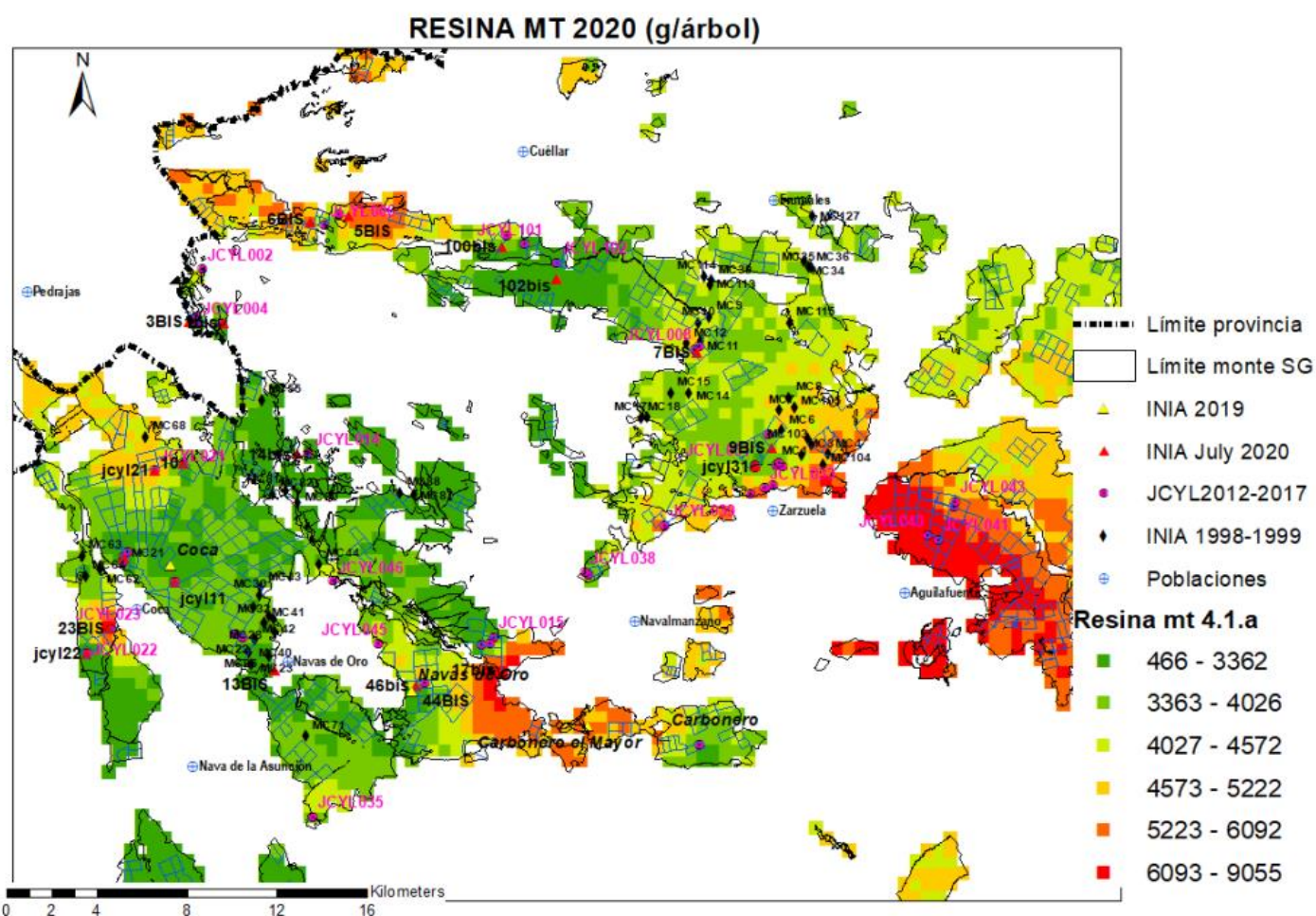


Figura2: Predicción de resina mt mediante CKUET utilizando como covariable resina taladro y como variable auxiliar la orientación

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

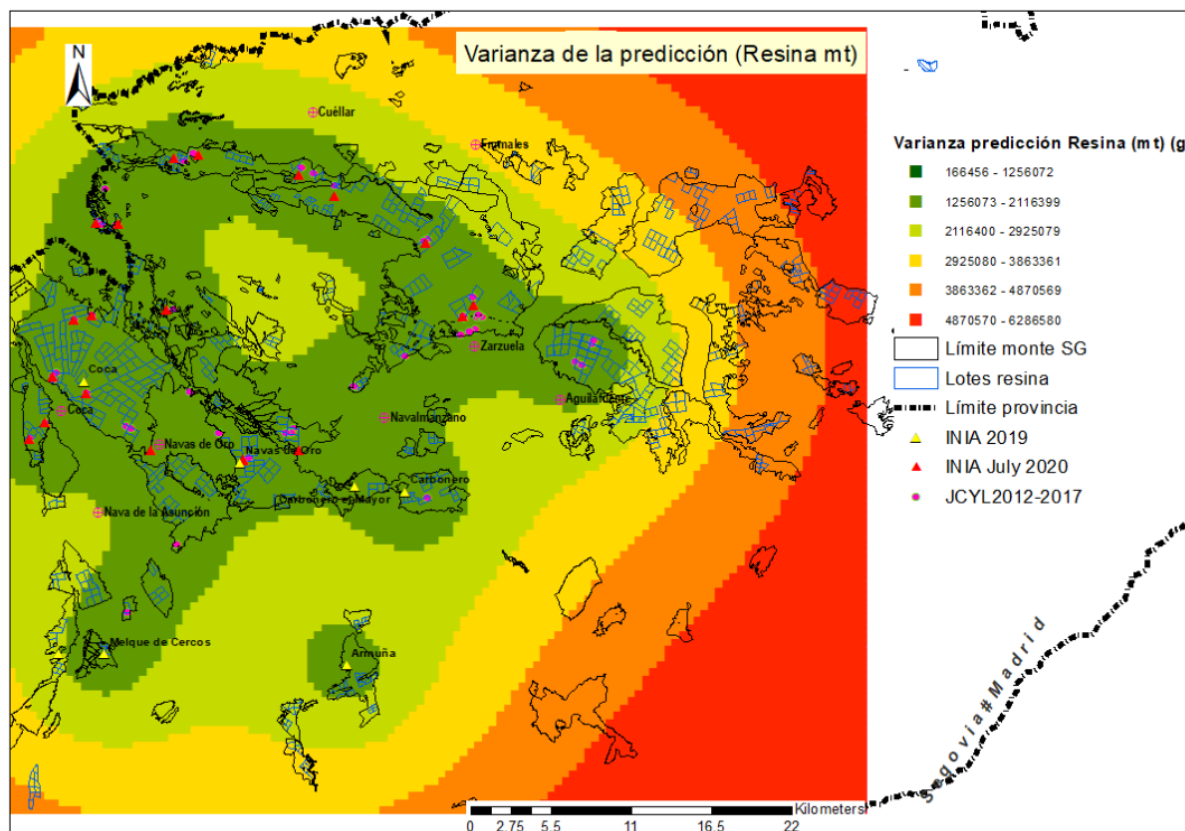


Tabla 1: resultados de CKUETs efectuados con otras covariables relativos a resina mt

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

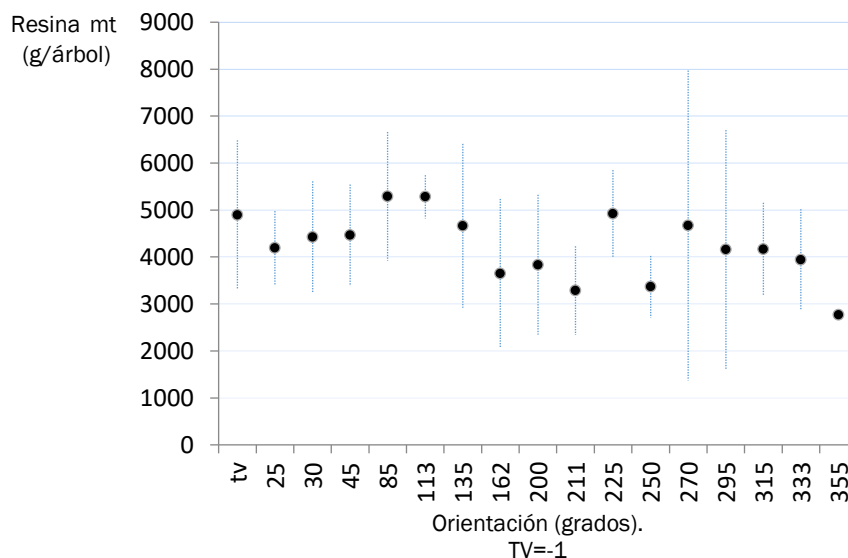


Figura 4: Producción de resina frente a orientación

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).

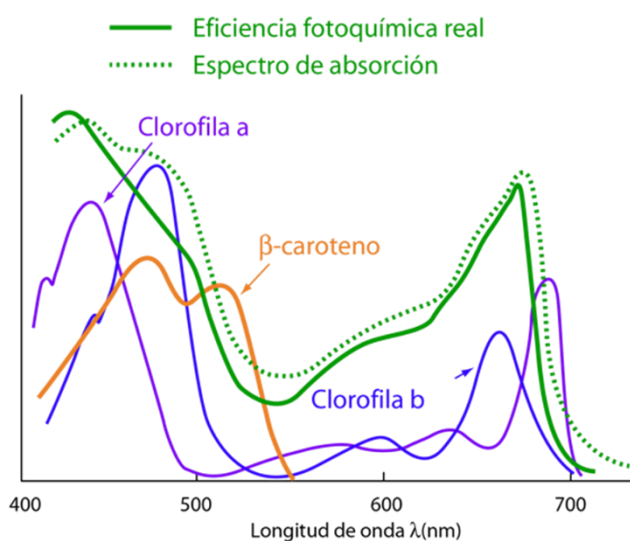


Figura 5. Espectro de absorción y eficiencia fotoquímica real. (<https://naturalmenteciencias.files.wordpress.com/2011/11/absorption-spectrum.jpg>)

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.

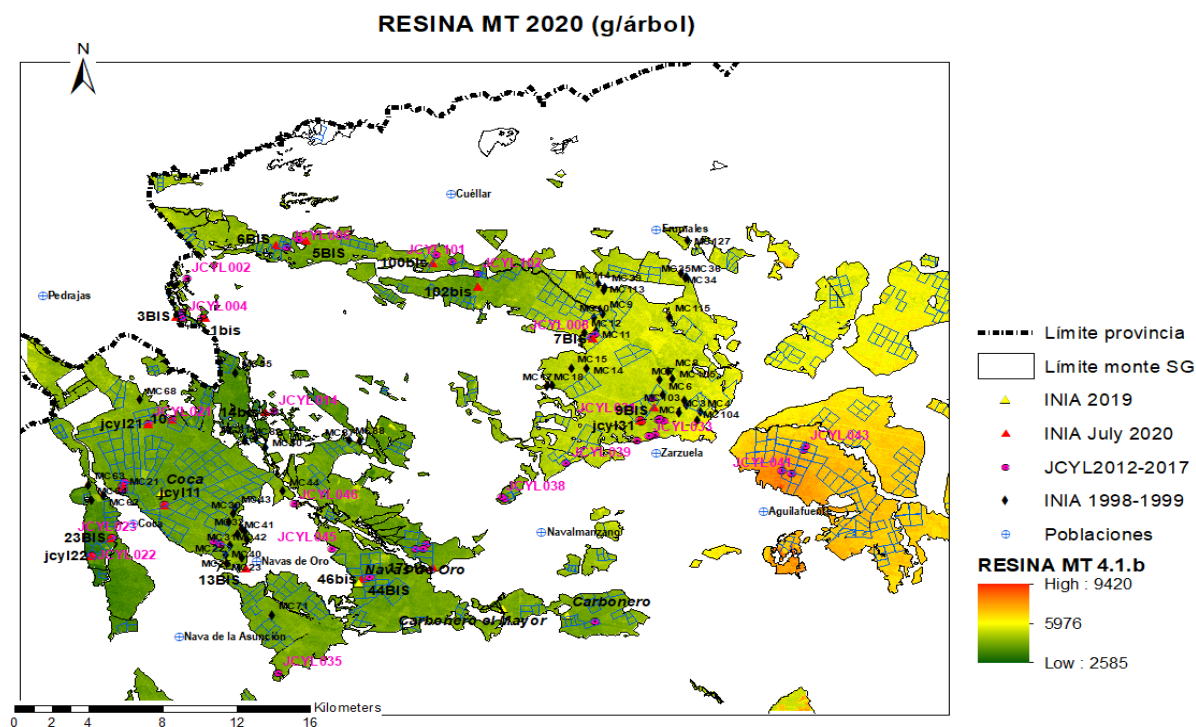
El estrés generado por la herida de resinación puede estar limitando la tasa fotosintética. Uno de los primeros efectos de estrés en las plantas es el cierre estomático. Las plantas disponen de mecanismos para disipar la luz captada que no son capaces de transformar en energía química para evitar daños 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



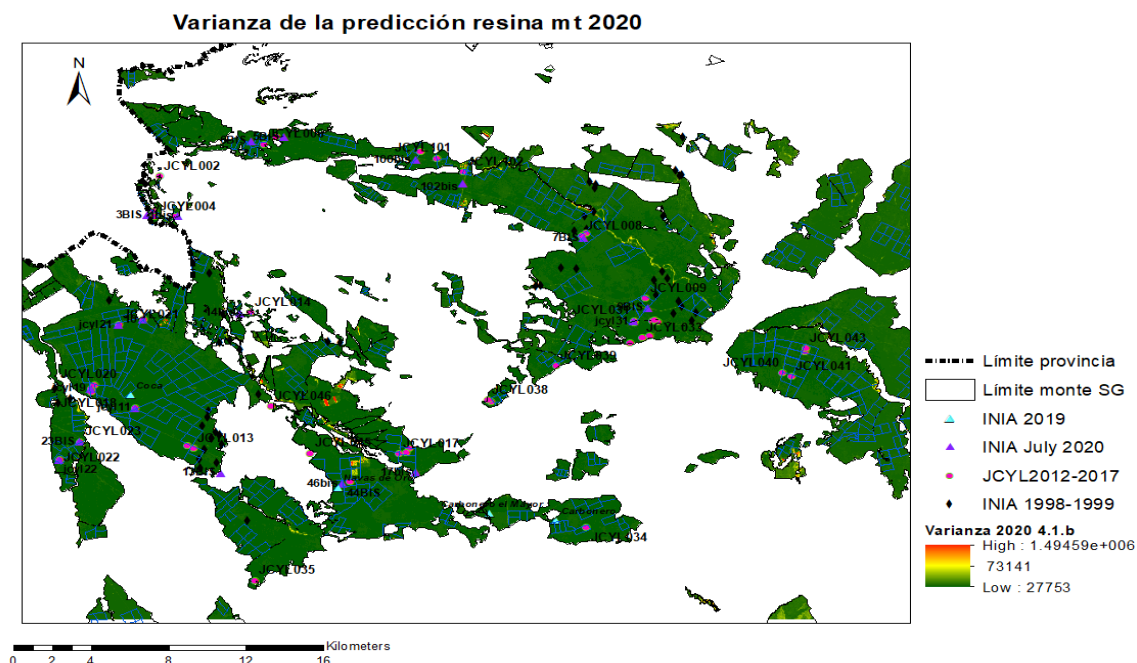


Figura 6: Superior: Estimación de resina mt (superior) y varianza (inferior) de la predicción obtenidas mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladros en 2019 y 2020 y como variables auxiliares las reflectancias de las imágenes de Landsat correspondientes al año de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

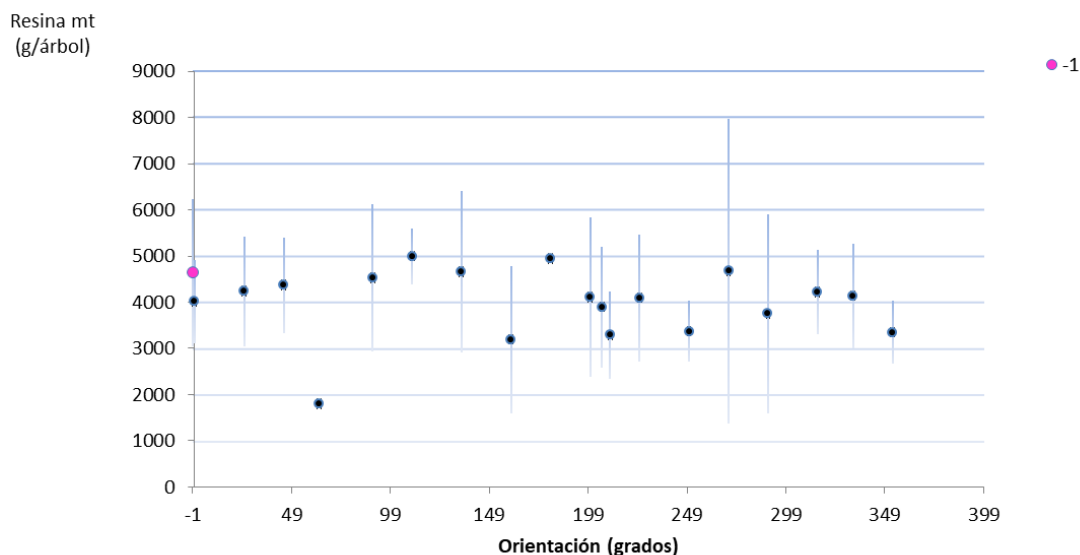


Figura 7: representación de la producción de resina (pica ascendente) frente a la orientación de la ladera en todas las parcelas: 1998,1999, 2012-2017. Todos vientos=-1

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.

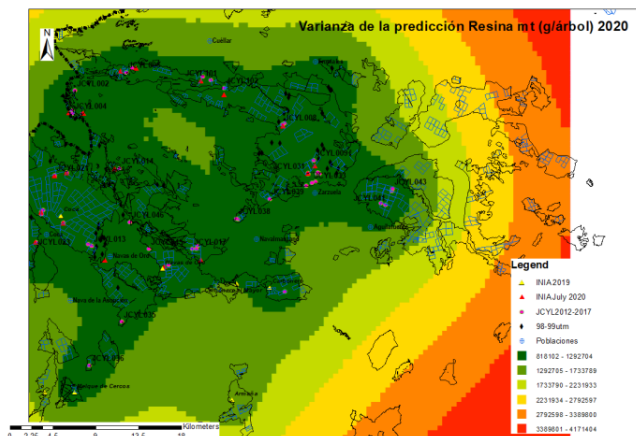
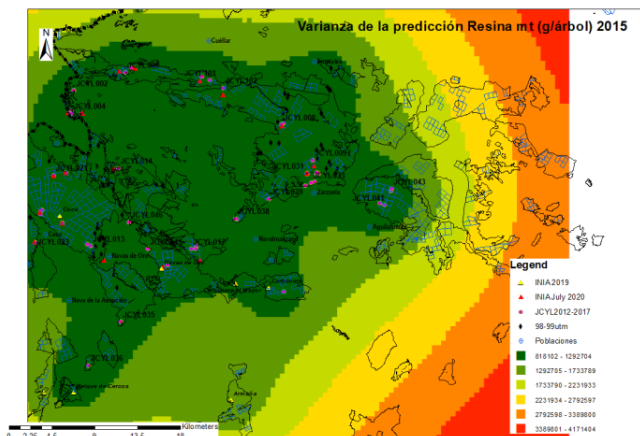
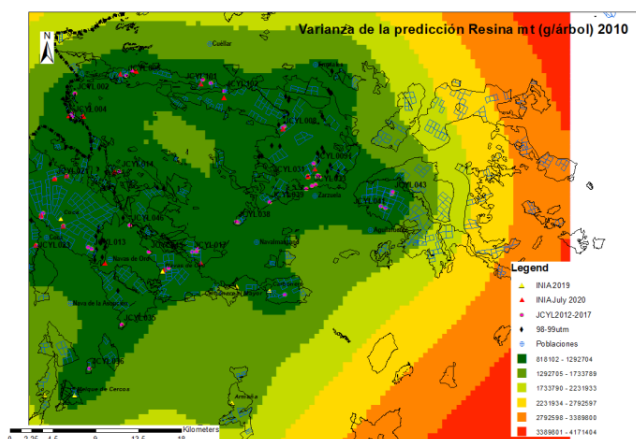
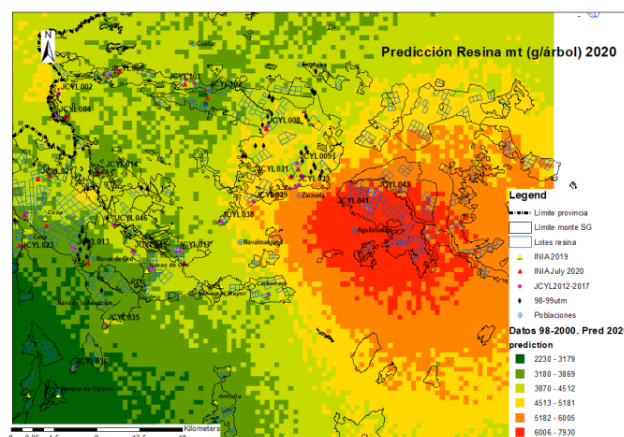
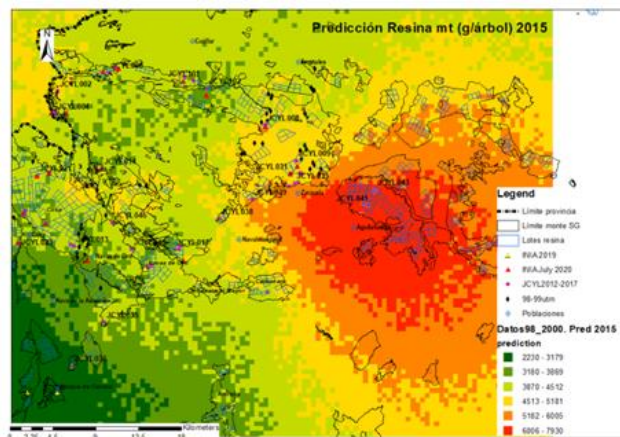
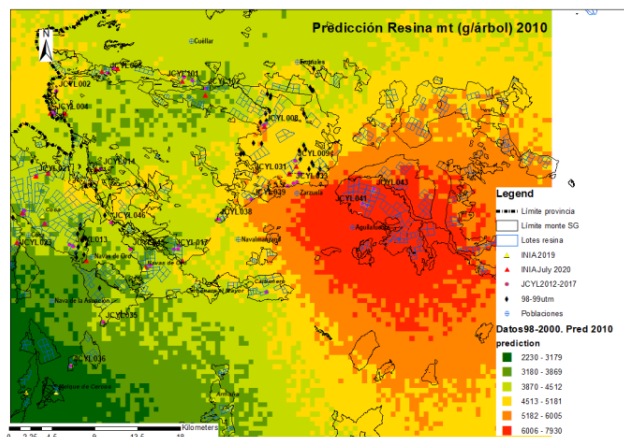


Figura 8: Predicción de resina mt mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladros en 2019 y 2020. Variable auxiliar orientación. Las tres últimas imágenes corresponden a la varianza de la predicción en los años 2010,2015 y 2020

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

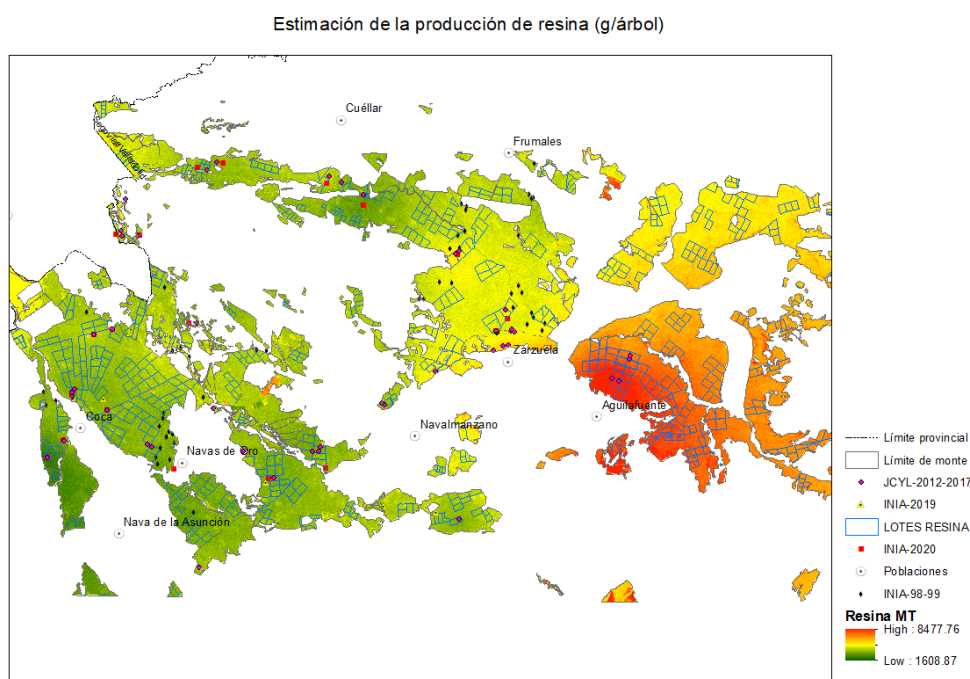


Figura 9: Predicción de resina mt mediante cokrigado utilizando como covariable la resina obtenida mediante taladro en 2019 y 2020 y como variables auxiliares las reflectancias correspondientes al verde, rojo e infrarrojo medio de las imágenes Landsat.

Varianza de la estimación de resina mt

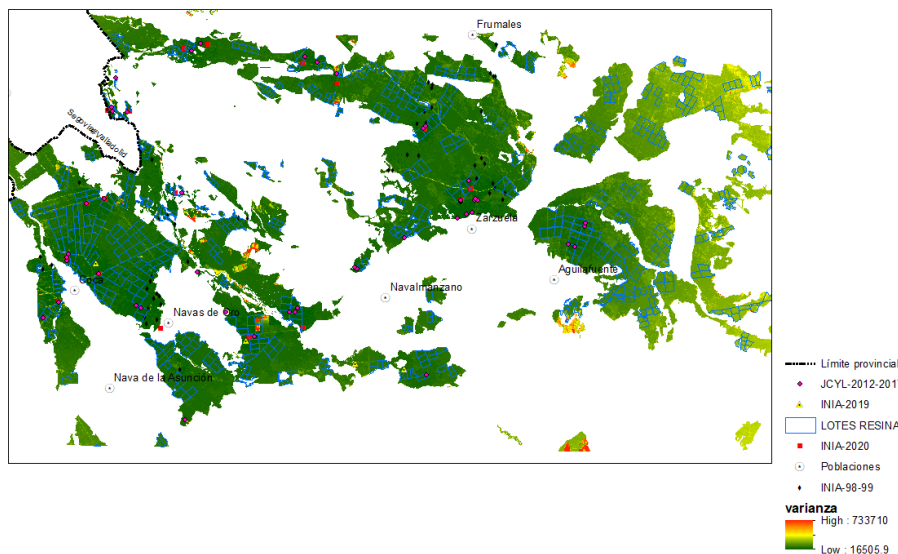


Figura 10: Varianza de la predicción de resina obtenida por método tradicional (mt) del cokrigado empleando como covariable resina taladro y como variables auxiliares las reflectancias Landsat correspondientes a las regiones verde, roja e infrarroja media del espectro.

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.

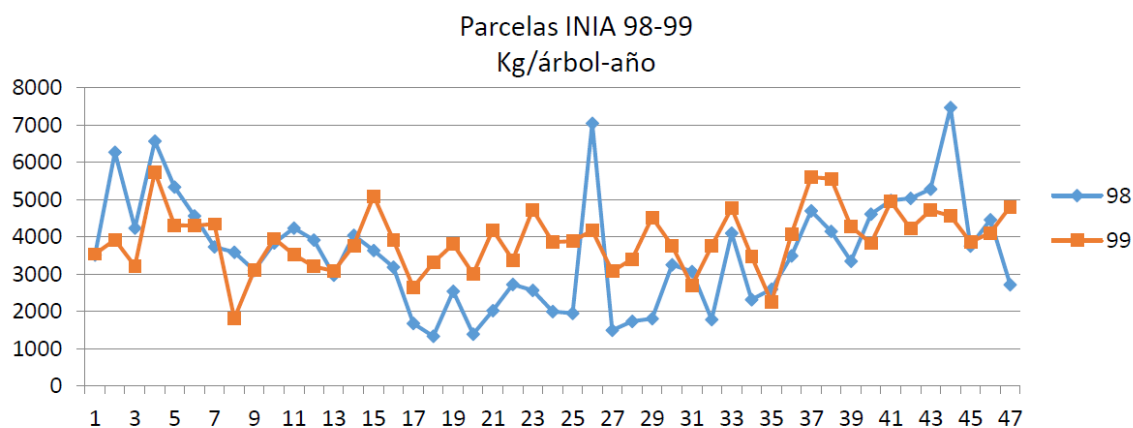


Figura 11: producción media anual por parcela de resina en las parcelas del Servicio Territorial de Medio Ambiente de la JCYL (arriba), en 2012, 2013, 2014 y 2017; y en las parcelas INIA 98-99.

En el eje x se muestra el código de parcela.

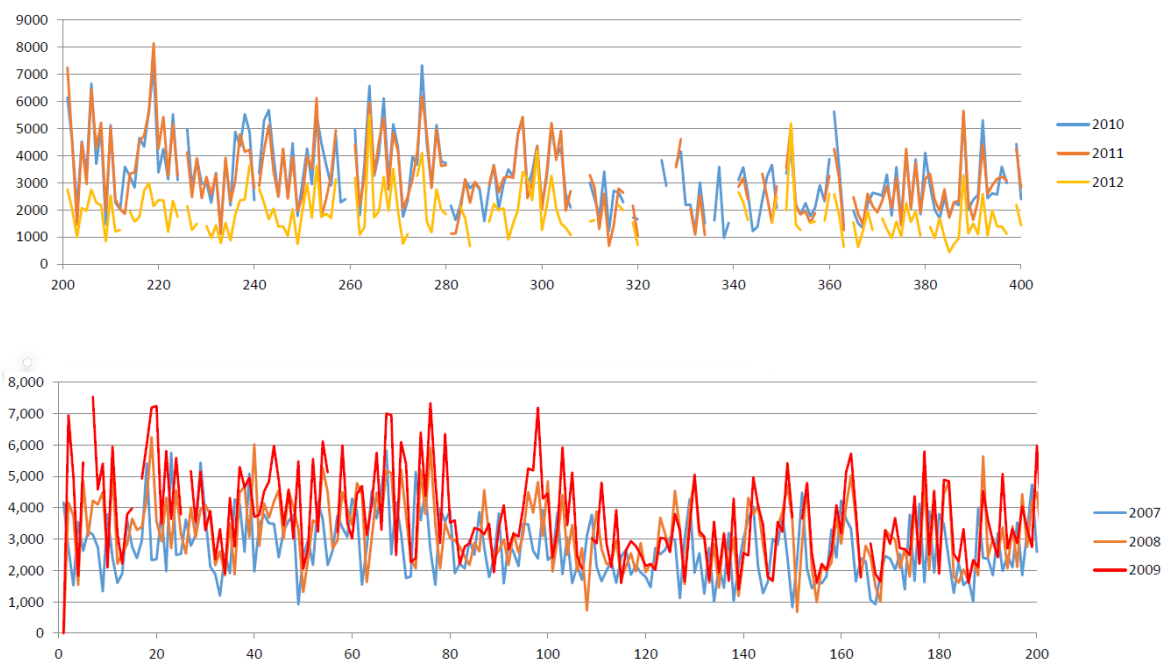


Figura 12: producciones de árbol individual en el MUP 101 de Segovia durante 2010-2012 (arriba) y 2007-2009 (abajo).

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

Cartes du potentiel de résines dans une région de gemmage française de l'espace SUDOE

Annexe française 1.24.1

CRPF Nouvelle-Aquitaine

11/2021

Sommaire

Introduction.....	3
1. Contexte.....	3
2. Facteurs influençant la production en gemme.....	4
Données utilisées.....	4
1. Modèle de production.....	4
2. Données de l'IGN.....	4
3. Remarques méthodologiques.....	5
Cartes.....	5
1. Potentiel de production.....	5
2. Discussion.....	7
Conclusion.....	8

Introduction

1) Contexte

La forêt des Landes, dans le Sud-Ouest de la France, est composée principalement de pins maritimes. La sylviculture appliquée est dynamique, les révolutions du peuplement se faisant après 30 à 40 ans après éclaircies. Le territoire néo-aquitain est hétérogène en ce qui concerne les contextes stationnaires (landes mésophile, dune, etc) et le relief (plateau, dune, vallée fluviale, etc).

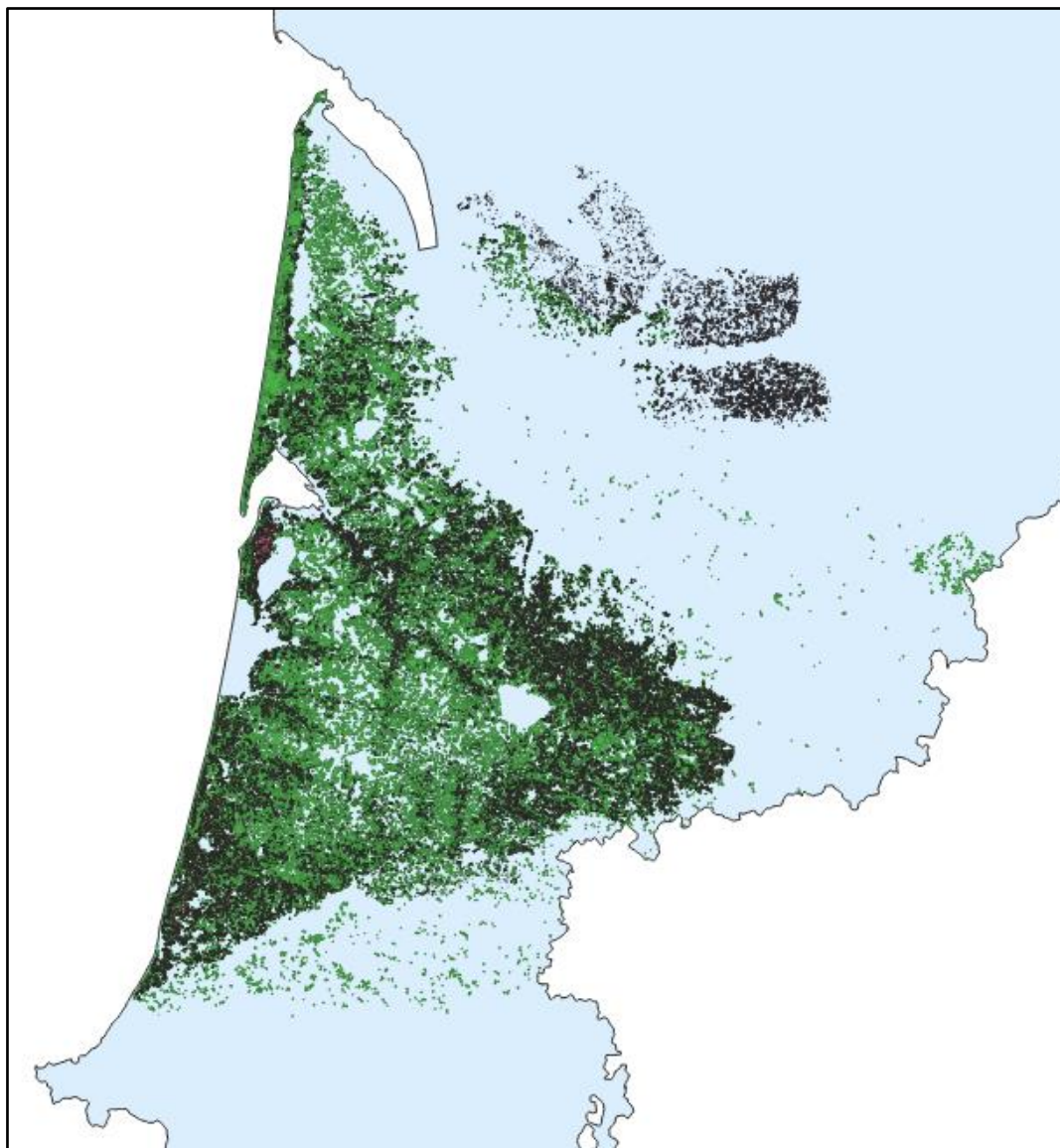


Figure 1 : Répartition des peuplements de pin maritime sur l'ex-région Aquitaine en 2018 (Données IGN)

2) Facteurs influençant sur la production en gemme

L'activité 1.14 menée conjointement par le CNPF et l'IEFC a permis de mettre en évidence différents facteurs qui influençaient la production en gemme des arbres. Il a été montré qu'il était préférable de gemmer les arbres en contexte dunaire, au plus proche de la côte atlantique et au sud du massif. Si le gemmage est pratiqué sur le plateau, les stations mésophiles peuvent être privilégiées. Aussi, les arbres les plus productifs étaient les plus âgés, présentant un diamètre important et un houppier bien développé dans des peuplements peu denses (**voir livrable 1.14.1**).

Afin de mieux documenter les possibilités de relance du gemmage en Nouvelle-Aquitaine, il convient alors de réaliser une carte des potentiels de production, en identifiant les zones géographiques propices au gemmage.

Données utilisées

Dans le présent livrable, nous avons réalisé une carte du potentiel de la productivité en gemme dans l'espace SUDOE pour la France, en se basant sur des surfaces utiles de pins maritimes et en utilisant des valeurs de références obtenues dans de précédents travaux SustForest+.

1) Modèle de production

L'INIA a réalisé des modèles de production créés par co-krigeage universel spatio-temporel - à partir des bases de données de plusieurs campagnes de récolte de résine réalisées en Espagne. Des variables auxiliaires ont été ajoutées à partir du modèle numérique de terrain DTM₂₅ de l'IGME (Instituto Geológico y Minero de España), à savoir : l'élévation, l'orientation, la pente et les courbes de niveau transversales et longitudinales (INIA, 2020). Ces modèles ont donné des résultats convenables avec des déviations quadratiques moyennes de 27%.

Néanmoins, ces modèles ne peuvent pas être utilisés pour la France car les données disponibles ne permettent pas de prendre en compte ce niveau d'erreur relativement faible. En outre, les modèles produits pour l'Espagne ont estimé la productivité de résine par arbre sur la base de l'échantillonnage permis par la méthode Borehole; alors que pour la France, la quantité de résine récoltée par arbre et par pique a dû être estimée en fonction d'autres variables.

2) Données de l'IGN

L'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) nous a fourni des données spatiales indiquant les contours des peuplements potentiellement aptes au gemmage, sur la base d'orthophotographies collectées en été 2018.

Les peuplements considérés aptes au gemmage sont ceux ayant des arbres matures et volumineux (hauteur supérieure à 21m) sur au moins 5% de leur surface. Cette analyse a été faite grâce à un modèle numérique de calcul de la hauteur de canopée, par pixels de 30m x 30m. L'indice corrélé au volume local est la moyenne des hauteurs enregistrées sur un pixel, points tombants au sol inclus. Nous nous référerons par la suite à ces peuplements en tant que « peuplements propices ».

Le quantile 95 à 21m correspond à des peuplements d'arbre moyen d'environ 1,5 m³. Parmi ces zones peuvent exister des peuplements traversés par des clairières (peuplement non-plein), mais il s'agit de situations marginales.

3) Remarques méthodologiques

Les cartes ont été réalisées avec le logiciel de cartographie QGIS (version 3.10.11).

Une analyse de superposition a été menée, afin d'établir le pourcentage de couverture des peuplements de pins maritimes et pins aptes au gemmage. Afin d'estimer le potentiel de production en gemme du territoire à partir des données de l'IGN, nous avons calculé le pourcentage du territoire couvert par les peuplements propices, suite à un découpage du territoire en carrés de 5 km x 5 km, soit en unités de 2500 ha (25km²). La taille de cette grille d'analyse a été choisie car elle permettait d'obtenir une précision satisfaisante, tout en empêchant l'identification directe des parcelles concernées respectant ainsi les données personnelles des propriétaires forestiers.

La production moyenne de résine par arbre a été estimée à 3L/an (**voir livrable 1.14.1**). En utilisant ce chiffre référence et avec une densité moyenne de **250 arbres à l'hectare**¹, la productivité moyenne en gemme pour la région a été estimée à **700L/ha/an**. Cette estimation nous a permis de calculer pour chaque unité de la carte le potentiel de production en litres de résine, en fonction de la surface recouverte par les peuplements propices.

Cartes

1) Potentiel de production

L'analyse graphique de la répartition des pins maritimes ayant des caractéristiques favorables au gemmage montre une distribution assez inégale, avec des zones à potentiel élevé et moyen ainsi que des clusters à haut potentiel de production (voir figure 2). Certaines zones au sein de ces clusters atteignent un potentiel de production locale à 525 T de résine par an.

La surface totale du territoire aquitain comprenant 85 500 ha de pins propices au gemmage, cela donne un potentiel de production totale en résine de 59 850 T par an, pour l'ensemble de la région Nouvelle-Aquitaine.

¹ Source : CRPF Nouvelle-Aquitaine

Cartographie du potentiel de production en gemme en Nouvelle-Aquitaine en fonction des peuplements de pins maritimes (*Pinus pinaster*)

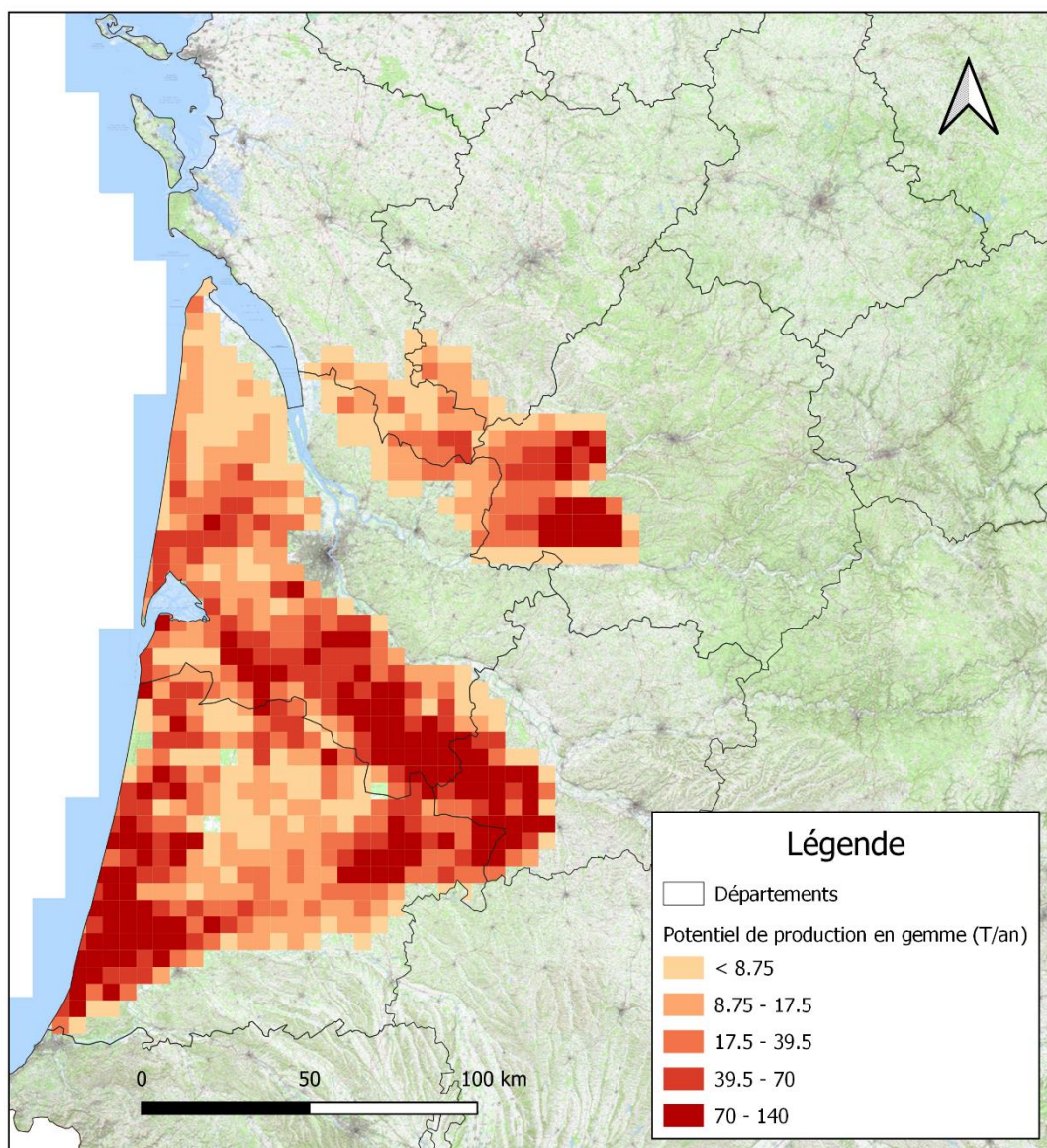


Figure 2 : Cartographie du potentiel de production en gemme en Nouvelle-Aquitaine en fonction des peuplements de pins maritimes (*Pinus pinaster*)

En plus des caractéristiques physiques des peuplements, il peut être intéressant de se pencher sur les caractéristiques de la gestion territoriale afin d'identifier des zones propices au gemmage. Les territoires à fort pourcentage de propriétaires forestiers regroupés apparaissent avec un haut potentiel sur la figure 3.

La carte ci-dessous croise les différentes sylvo-écorégions ainsi que les orientations forestières territoriales, renseignant sur les zones propices à produire et gérer l'exploitation de la résine.

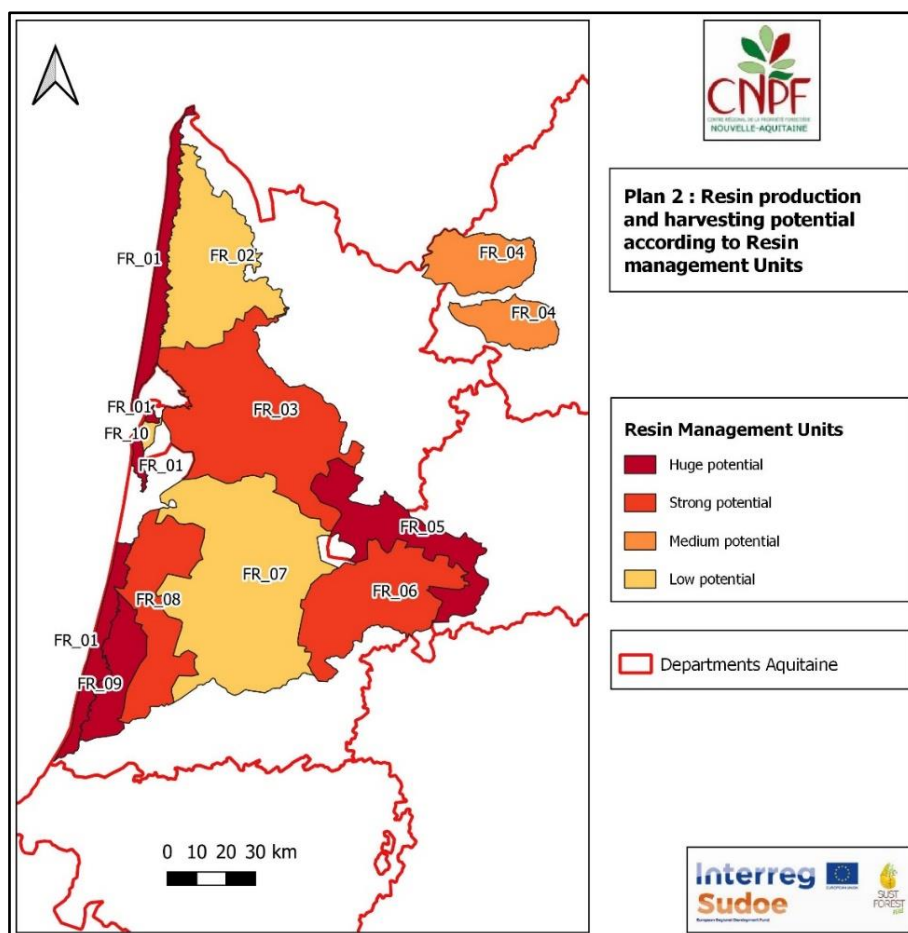


Figure 3 : carte du potentiel de production et récolte de résine du pin maritime selon les 11 unités de gestion (CRPF Nouvelle-Aquitaine, 2020)

2) Discussion

Il apparaît que l'information fournie par les deux cartes se corrobore : les zones où il serait intéressant de lancer une activité de gemmage peuvent être clairement identifiées, à savoir la forêt de la Teste de Buch, la pointe Sud-ouest de la région et l'extrême Est de la forêt des Landes, ainsi que l'Ouest de la Dordogne.

Les données de l'IGN ne comprennent pas l'ensemble de la région Nouvelle-Aquitaine, ainsi un plus fort potentiel à l'échelle régionale pourrait être estimé (si toutes les unités spatiales géographiques étaient représentées dans les données).

Si l'on regarde la production à l'hectare, le potentiel de production exprimé dans la carte semble être plus bas que la valeur théorique de référence qui est de 700L/ha/an. Cela peut s'expliquer par le fait que les pins que nous avons considérés ici comme propices au gemmage ont pour caractéristiques principales leur âge et leur hauteur. Or, la région Nouvelle-Aquitaine a connu dans les dernières décennies deux tempêtes majeures (Martin en 1999 et Klaus en 2009) qui ont décimé les peuplements de pins maritimes. Dans certaines communes, le taux de dégâts sur le pin maritime avait dépassé les 60% (figure 4).

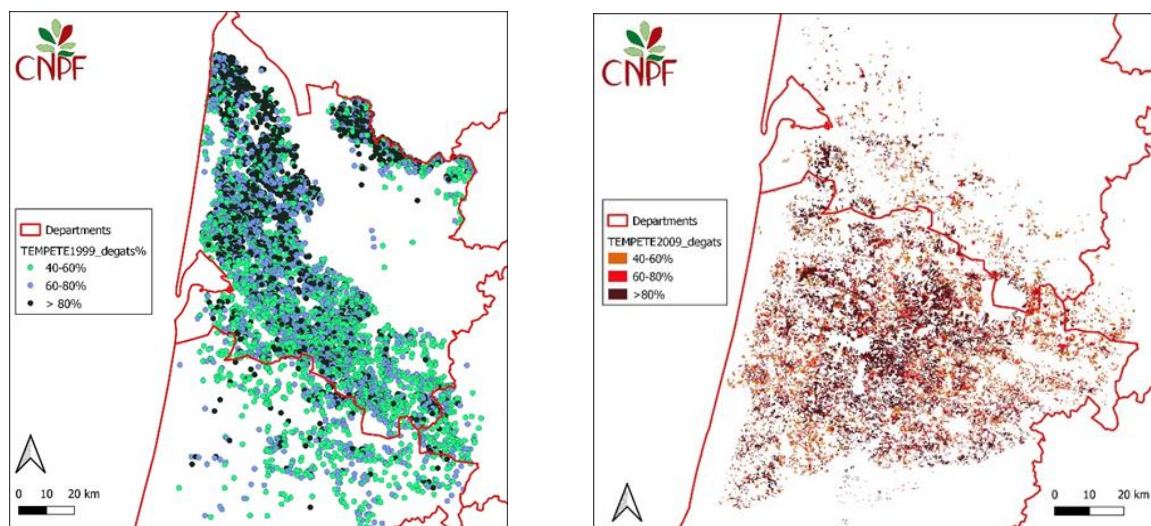


Figure 4 : cartes des dégâts suite aux tempêtes 1999 (à gauche) et 2009 (à droite) selon les degrés d'impact sur les peuplements de pin maritime (source IGN)

Conclusion

Si l'on se base sur la superficie des peuplements aptes au gemmage, le potentiel de production totale pour le territoire représentant l'ex-région Aquitaine est de **59 850 T de résine par an**. Or, si l'on regarde à l'échelle de la région entière, il est très vraisemblable que cette valeur puisse augmenter grandement.

Ces travaux cartographiques ont permis de localiser les arbres propices et les zones intéressantes pour la production de la résine, en regardant la densité des arbres matures. Il conviendrait, dans un deuxième temps, de créer un modèle de production adapté au cas français qui permettrait d'intégrer des facteurs tels que la distance à l'océan, les conditions de la station, le climat, afin de déterminer les fluctuations de productivité par arbre. En effet, un arbre dans de bonnes conditions aura une production supérieure à notre valeur référence de 3L/an, et un arbre dans une zone moins favorable aura une productivité plus faible.