



$$L[\alpha, \beta, \sigma^2, \sigma_u^2, \sigma_v^2, \rho] = \prod_{i=1}^m \int_{u_i} \int_{v_i} \prod_{j=1}^{n_i} \left(\frac{1}{1 + \exp(\mathbf{x}_{ij} \alpha + u_i)} \right)^{1-r_{ij}} \left(\frac{\exp(\mathbf{x}_{ij} \alpha + u_i)}{1 + \exp(\mathbf{x}_{ij} \alpha + u_i)} \right)^{r_{ij}}$$

$$\left[\left(\frac{1}{y_{ij} \sigma \sqrt{2\pi}} \right) \exp \left(-\frac{1}{2\sigma^2} (\log(y_{ij}) - (\mathbf{z}_{ij} \beta + v_i))^2 \right) \right]^{r_{ij}} \left(\frac{1}{2\pi \sigma_u \sigma_v \sqrt{1-\rho^2}} \right) \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left(\frac{u_i^2}{\sigma_u^2} + \frac{v_i^2}{\sigma_v^2} - \frac{2\rho u_i v_i}{\sigma_u \sigma_v} \right) \right] du_i dv_i$$

Modelización y predicción de la cosecha de piña en *Pinus pinea*

Estado actual y retos para el futuro

Rafael Calama, Marta Pardos
Javier Gordo



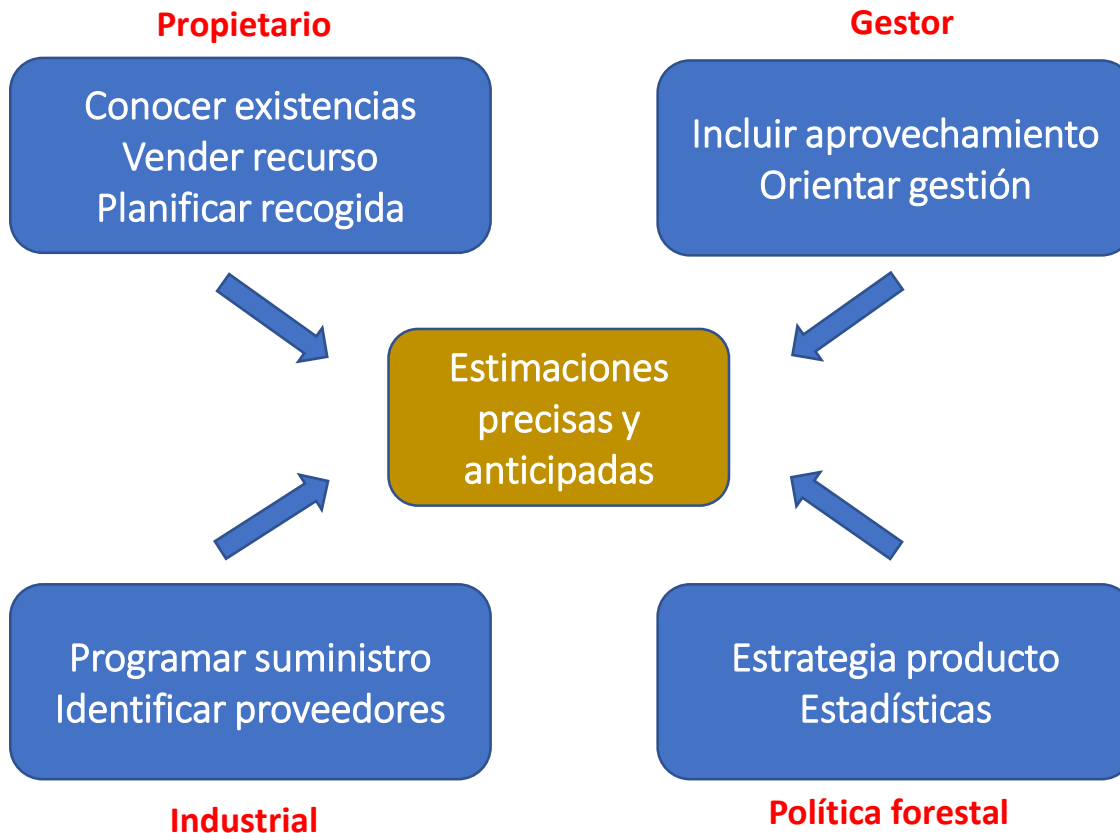


Índice

- Unas ideas básicas
- Qué necesito para construir un modelo de producción de piña
- Ejemplo. Modelo producción de piña (Calama et al. 2016)
- Aplicación PINEA_Climadat
- Retos para el futuro

Idea 1. Es necesario tener estimaciones precisas de la producción anual de piña

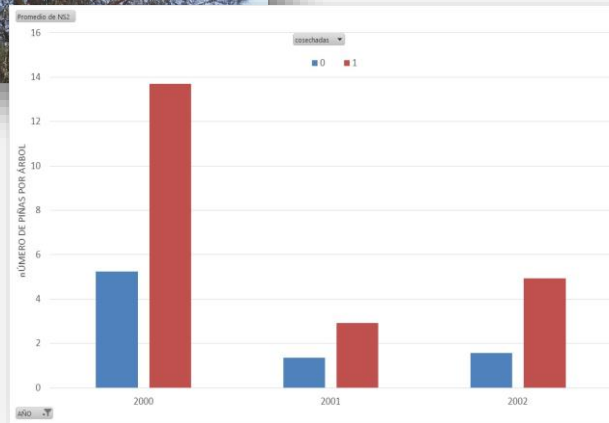
- Piñón: principal fruto forestal comestible mediterráneo
- Producción media nacional: 50 10⁶ t piña
- Precio piña en fábrica: 1 € / kg



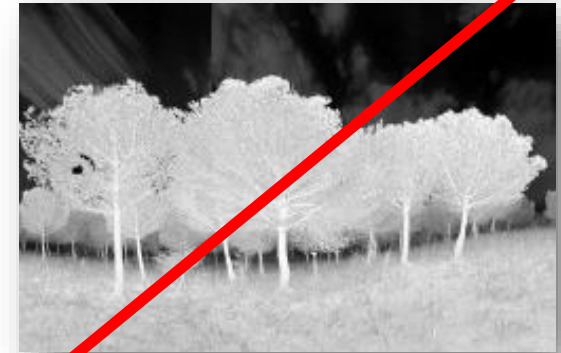


Idea 2. No es fácil medir de forma directa la producción de piña

- Las piñas se localizan en la parte alta de la copa, cubiertas por 2-3 crecimientos vegetativos
- “Fácilmente” visibles unas pocas semanas al final de la primavera del año de maduración
- Estimaciones visuales desde el suelo son muy poco precisas
- Personal muy especializado y siempre el mismo



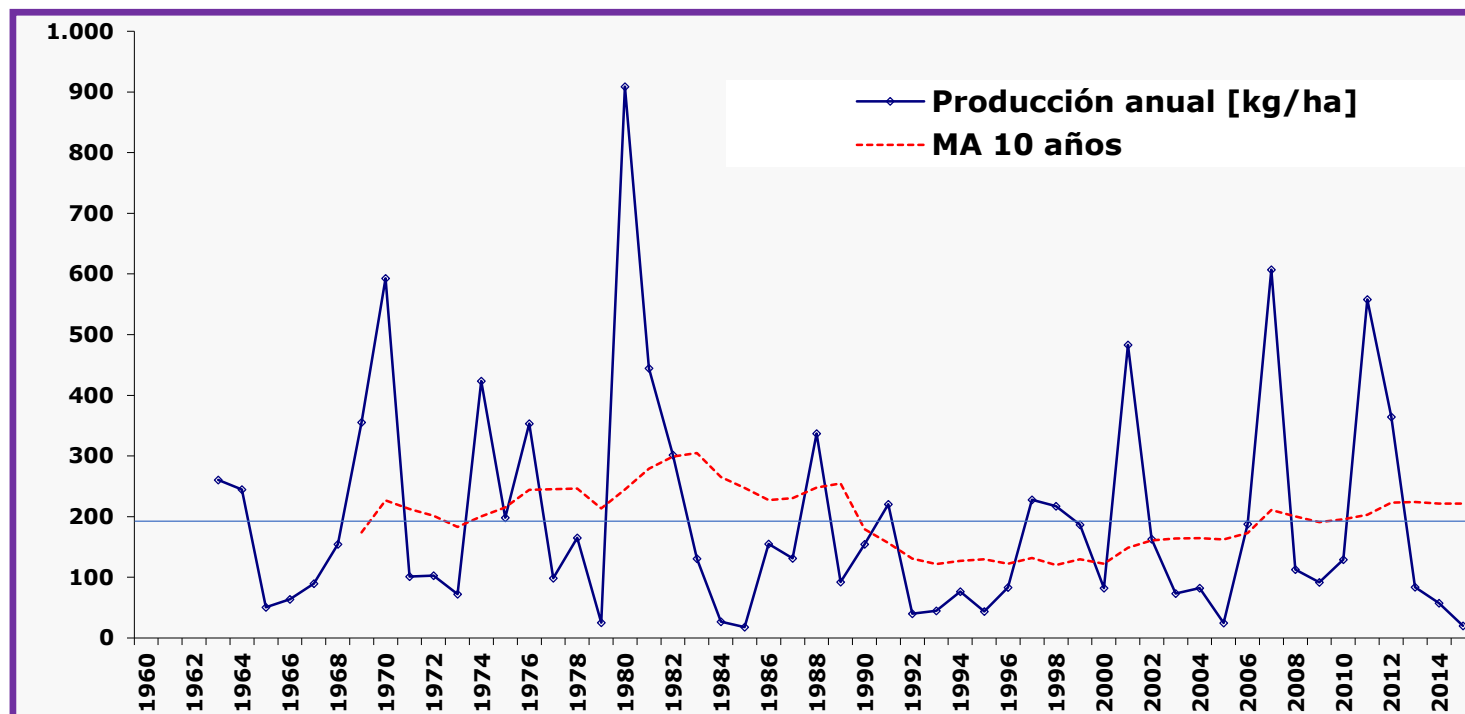
Alternativas





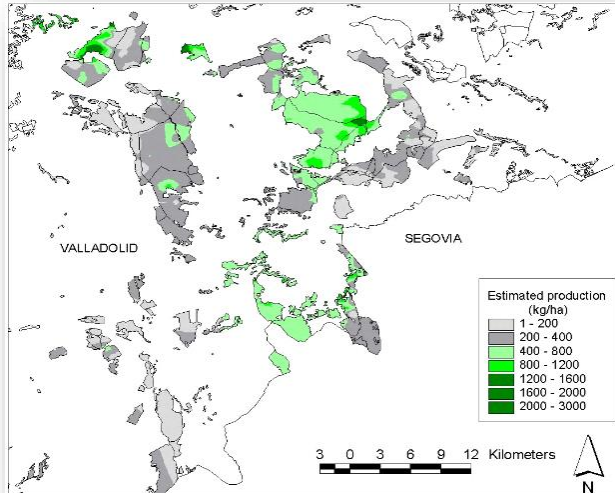
Idea 3. Aunque fuésemos capaces, necesitaríamos medir cada año

- Variabilidad interanual magnitud > 50 (a nivel provincial)
- No hay ciclos fijos: control climático + agotamiento recursos + plagas
- Valores medios en periodos de 5 – 10 años tienden a ser constantes



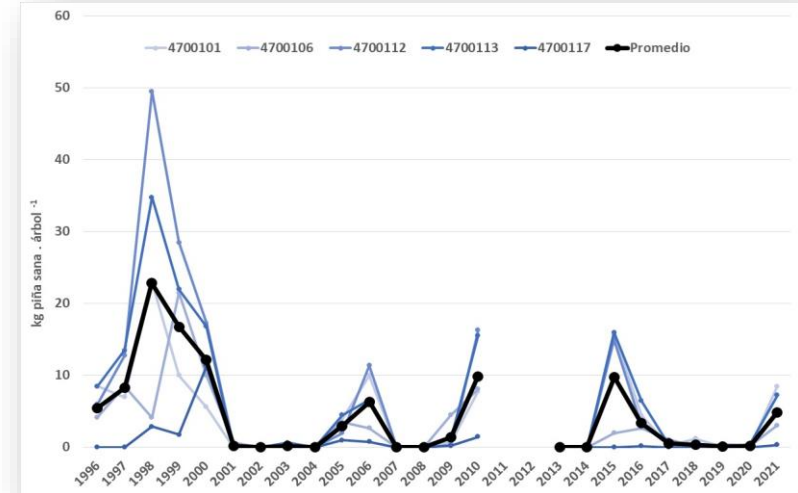


Idea 4. La producción de piña es muy variable en el espacio y en el tiempo



Variabilidad espacial a distintas escalas

- Entre árboles de un mismo rodal
- Entre rodales de un mismo monte
- Entre montes de una misma región



Vecería: Patrón de variabilidad temporal sincronizado en la producción de fruto

- Entre árboles de un mismo rodal
- Entre rodales de un mismo monte
- Entre montes de una misma región



Necesario identificar factores que condicionan esta variabilidad



Idea 5. Estimar la producción a partir de modelos predictivos

Medición directa



Requiere medir
(1) todos los años
(2) en todo el territorio (3) a distintas escalas



Modelo predictivo



Permite dar estimaciones de la producción a distintas escalas espaciales y temporales



Siempre que el modelo sea
inseguro y lo
“suficientemente” preciso

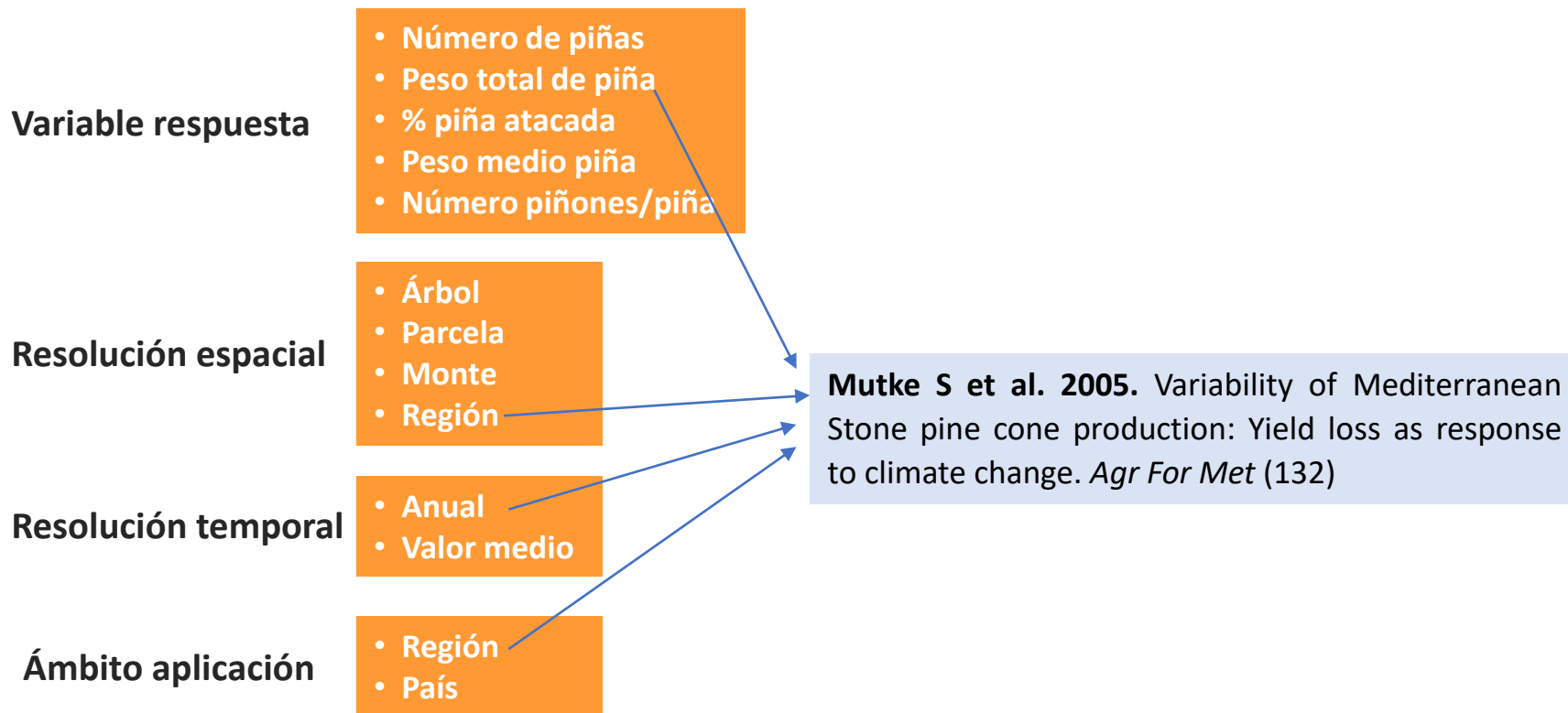




¿Qué necesito para construir un modelo de producción de piña?

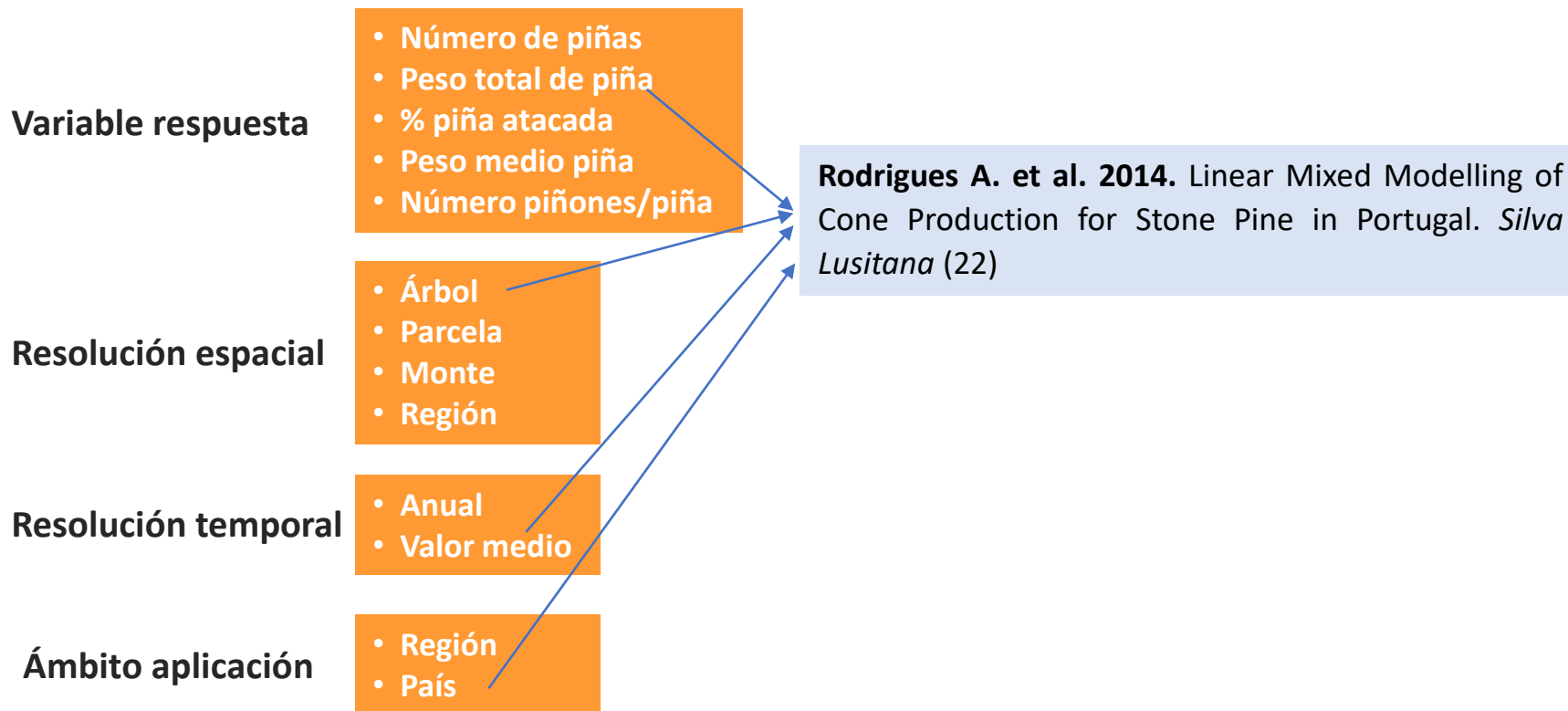


Necesidad 1. Definir estructura del modelo



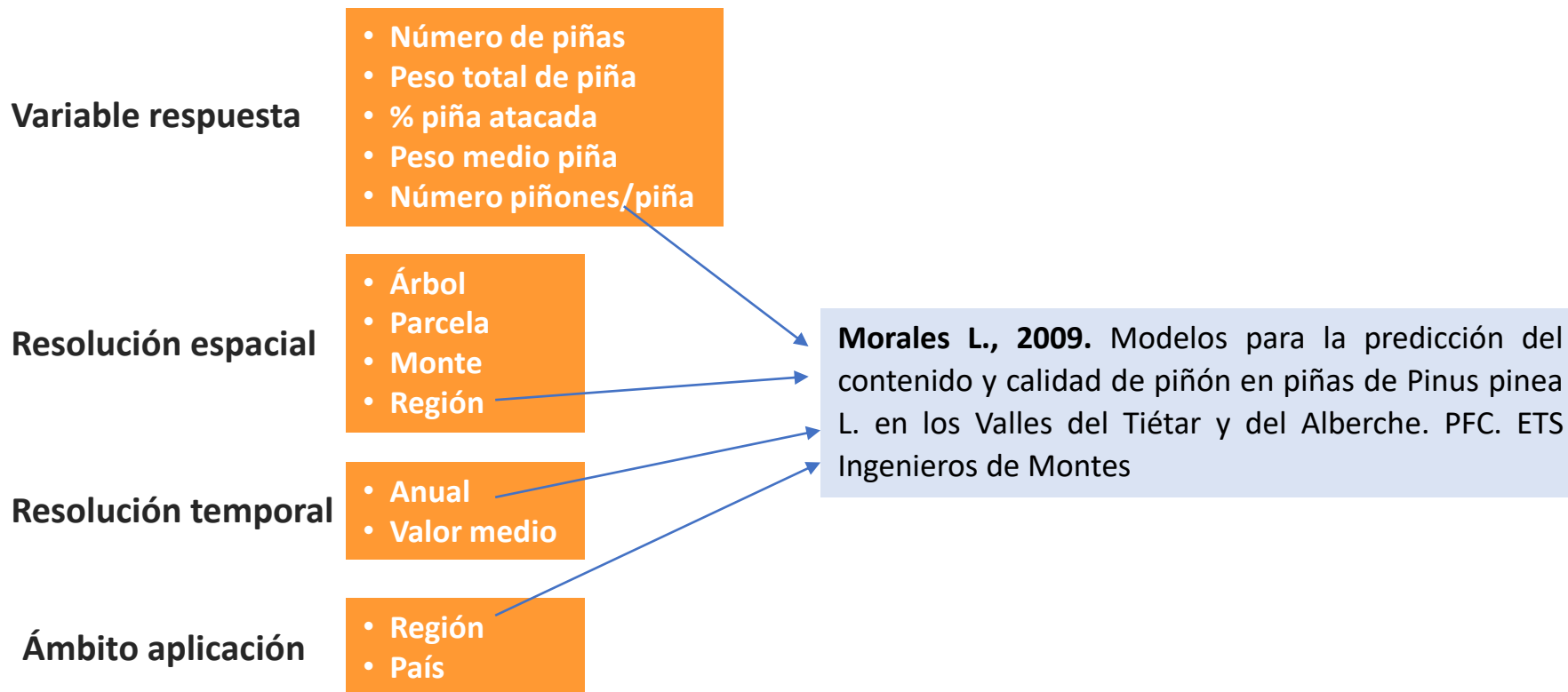


Necesidad 1. Definir estructura del modelo



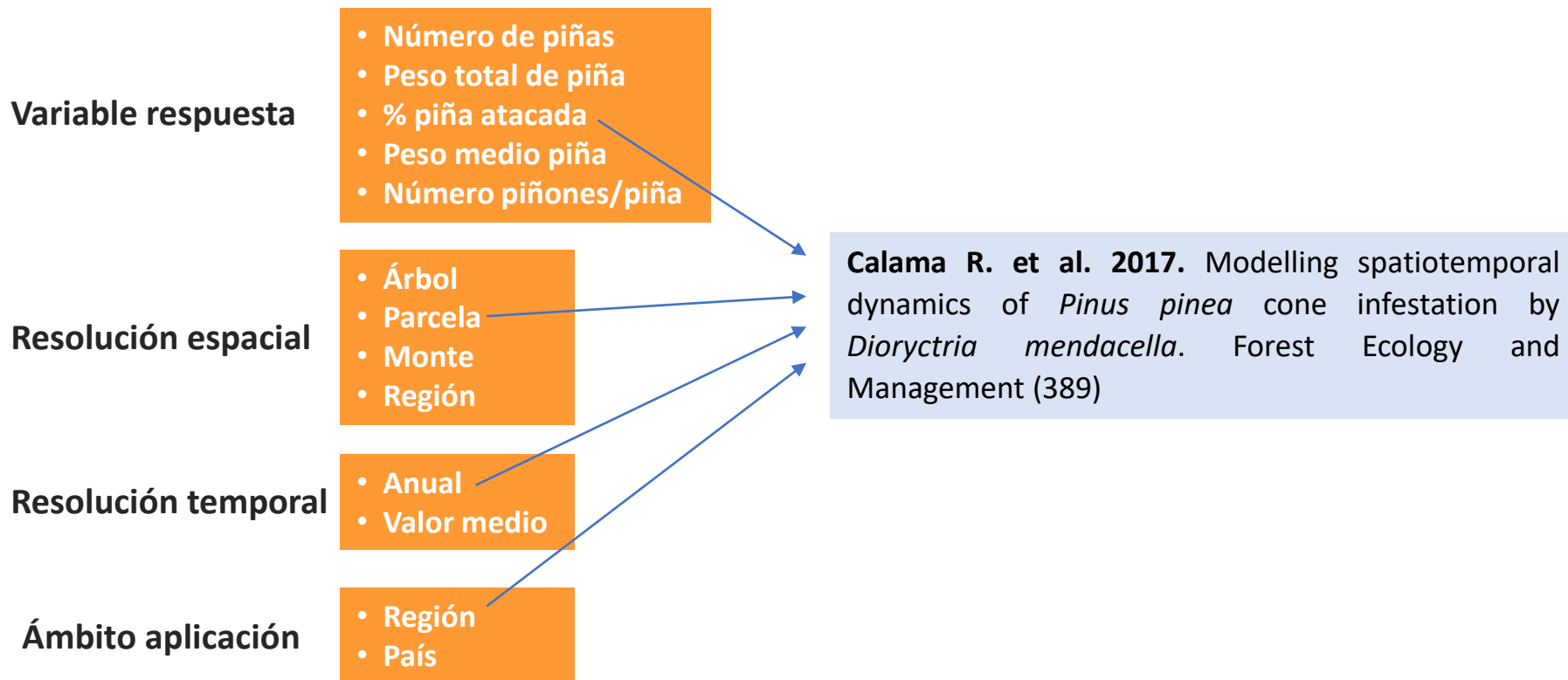


Necesidad 1. Definir estructura del modelo



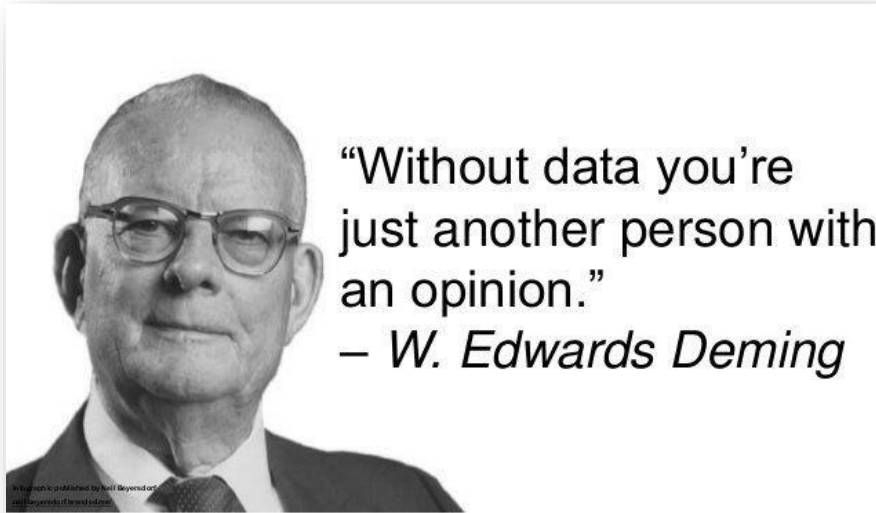


Necesidad 1. Definir estructura del modelo





Necesidad 2. Datos



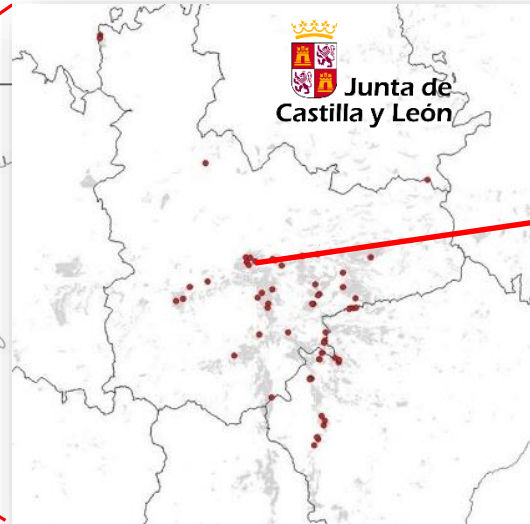
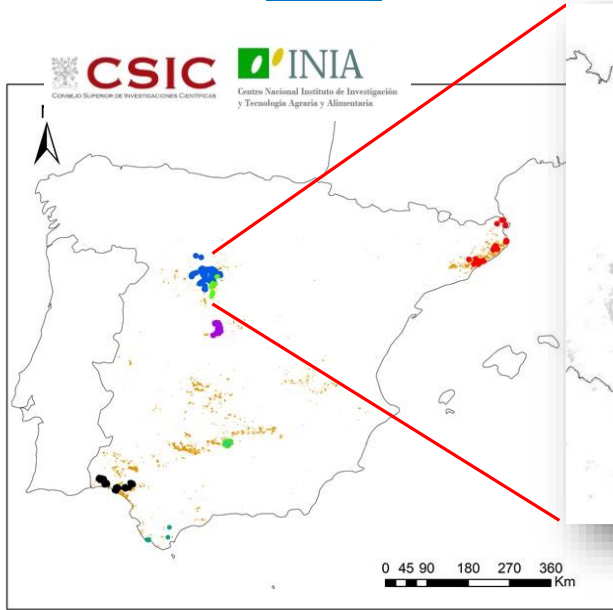
¿Diseñar muestreo o usar datos existentes?

- Los datos deben incluir la variable a predecir
- Resolución espacial y temporal deben ser (al menos) las del modelo
- Cubrir rango de condiciones espaciales del ámbito de aplicación
- Serie mínima: 5 años (medio) - 10 años (anual)
- Años buenos - malos



“Si metes basura, obtienes basura”

Necesidad 2. Datos



Cosecha piña 5 árboles por parcela



Clasificación, conteo y pesaje de piña sana y dañada de cada árbol



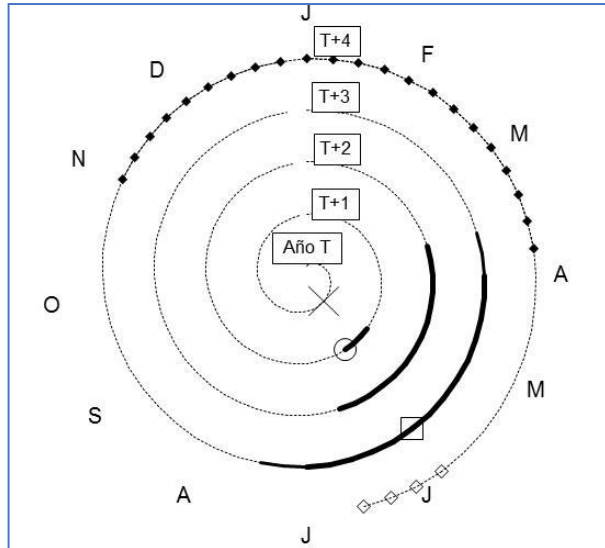
2021: Recogida piña 34 parcelas de Valladolid y 18 de Segovia

Región	Provincia	Parcelas	Installation year	Máximum length of cone collection	Institutions
Meseta Norte	Segovia	18	2017	2017 – 2021	INIA S.T. M.A. Segovia
	Valladolid	141	1995	1996 – 2021	INIA S.T. M. A. Valladolid
Depresión Guadalquivir	Huelva	228	1992	1992 – 1999	INIA Universidad Huelva Consejería M.A. Andalucía
	Cádiz	10	1996	1996 – 1998	INIA Consejería M.A. Andalucía
Sierra Morena	Jaén	25	2005	2005 – 2008	INIA O.A. Parques Nacionales
Cataluña Litoral	Barcelona	14	2000	2000 – 2008	INIA CTFC
	Gerona	23	2000	2000 – 2008	INIA CTFC
Valles Tiétar y Alberche	Ávila	34	1996	1996 – 2008	INIA S.T. M. A. Ávila
	Madrid	17	1996	1996 – 2005	INIA D.G. Medio Natural CAM

- 22783 observaciones árbol x año: 43% Meseta N
- Serie más larga: 1996 – 2021
- 2977 árboles
- Número piñas sanas, dañadas, peso piña sana



Necesidad 3. Conocer el proceso



X: Jn _ Año T: Aparición yemas

O: Jn _ T+1: Floración + Polinización

□ : Jn_ T+3: Fecundación

— Periodos de crecimiento de la piña

◆ Desde Nov T+3: Recogida

◇ Desde My T+4: dispersión semilla



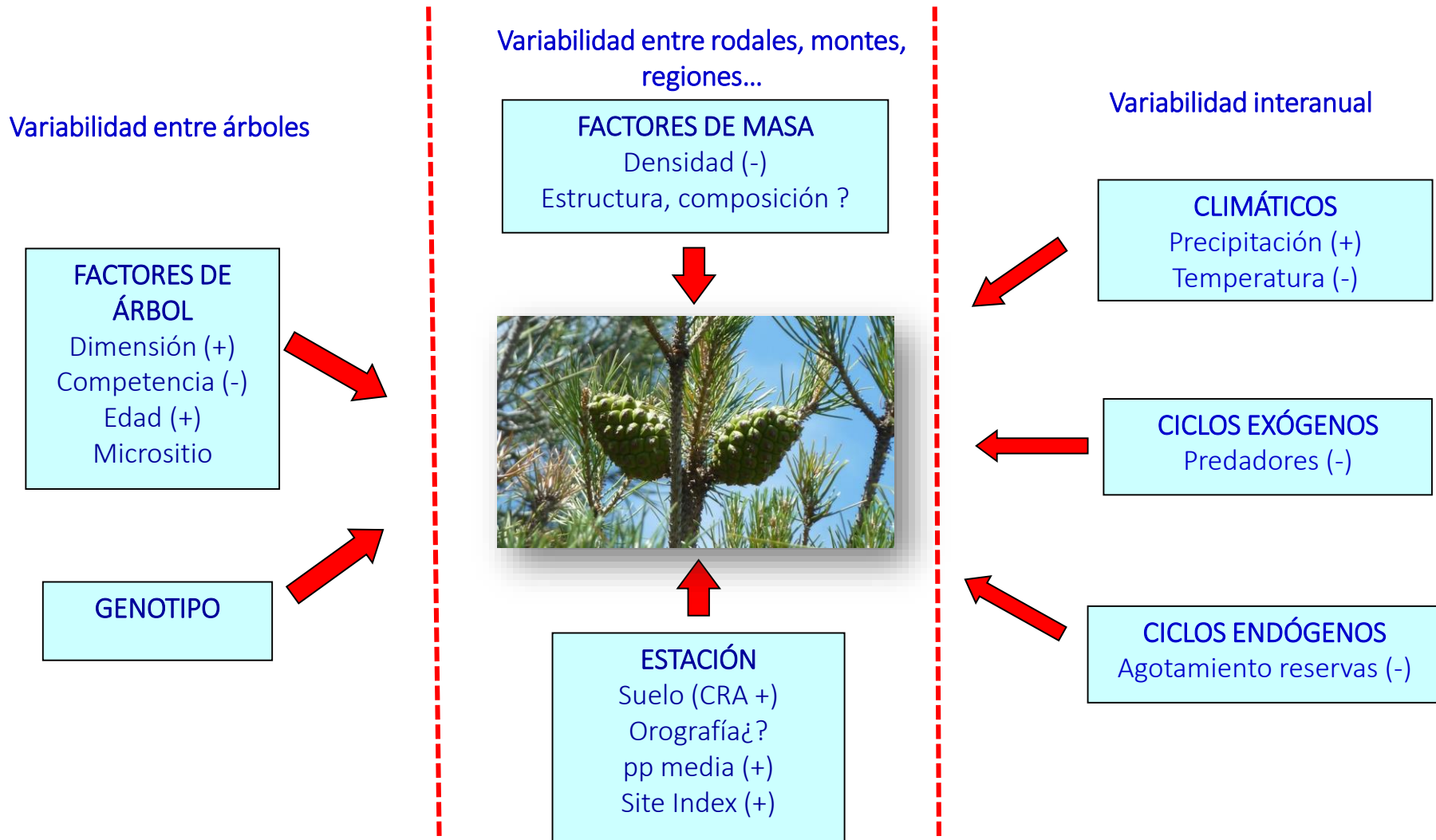
Ciclo reproductivo de Pinus pinea (Mutke et al. 2012)

- *Proceso de larga duración*
- *Numerosos cuellos de botella: climáticos, plagas, falta polinización*
- *Fisiología*
- *Fenología*





Necesidad 4. Identificar factores de influencia (contrastar hipótesis)

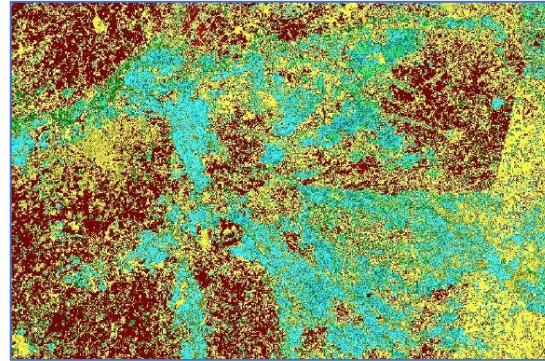




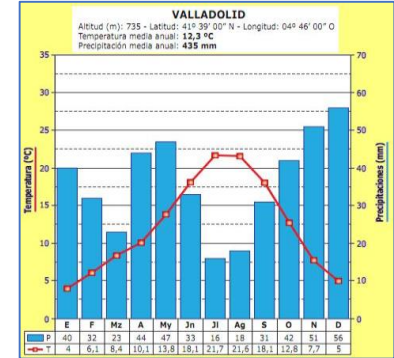
Necesidad 5. Disponer de las variables predictoras necesarias



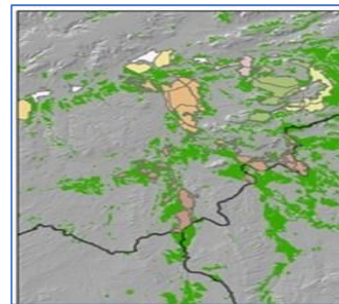
Tamaño de árbol
AB, N pies/ha, SDI, Dg...
Edad Rodal, Índice Sitio



Índices vegetación
Métricas LIDAR - TLS



Datos climáticos
AEMET, EURO-CORDEX,
Inforriego



Zonificación territorio
Calicatas
Mapas litología
Atributos fisiológicos



- Medidas en las mismas unidades / años que la variable de respuesta
- La resolución espacial y temporal de la variable predictoras más precisa debe coincidir como mínimo con la resolución de la variable de respuesta

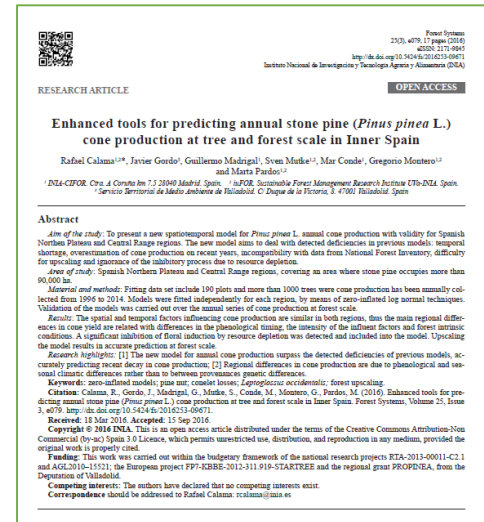


Ejemplo. Modelo producción piña (Calama et al 2016. Forest Systems)

Ámbito: Valladolid y Valle Alberche
Modelo peso piña sana, árbol individual, anual,
Datos: red INIA (1996 – 2014)
Modelo bietápico

- Probabilidad (θ) de tener fruto un árbol en un año T
- Producción de fruto (wc=kg.) del árbol en ese año
- Producción esperada (kg / año.árbol) = $\theta \cdot wc$

- Variable árbol: d , d/dg
- Variables rodal: dg , SDI
- Estratificación edafoclimática: UN
- pp nv_7_3: formación y diferenciación yemas
- pp_mar_3_2: floración
- pp_sp_4_2: supervivencia primer verano
- Pp_jl_7_0: engorde piña
- Días helada severa
- Cosecha 2 – 3 años antes



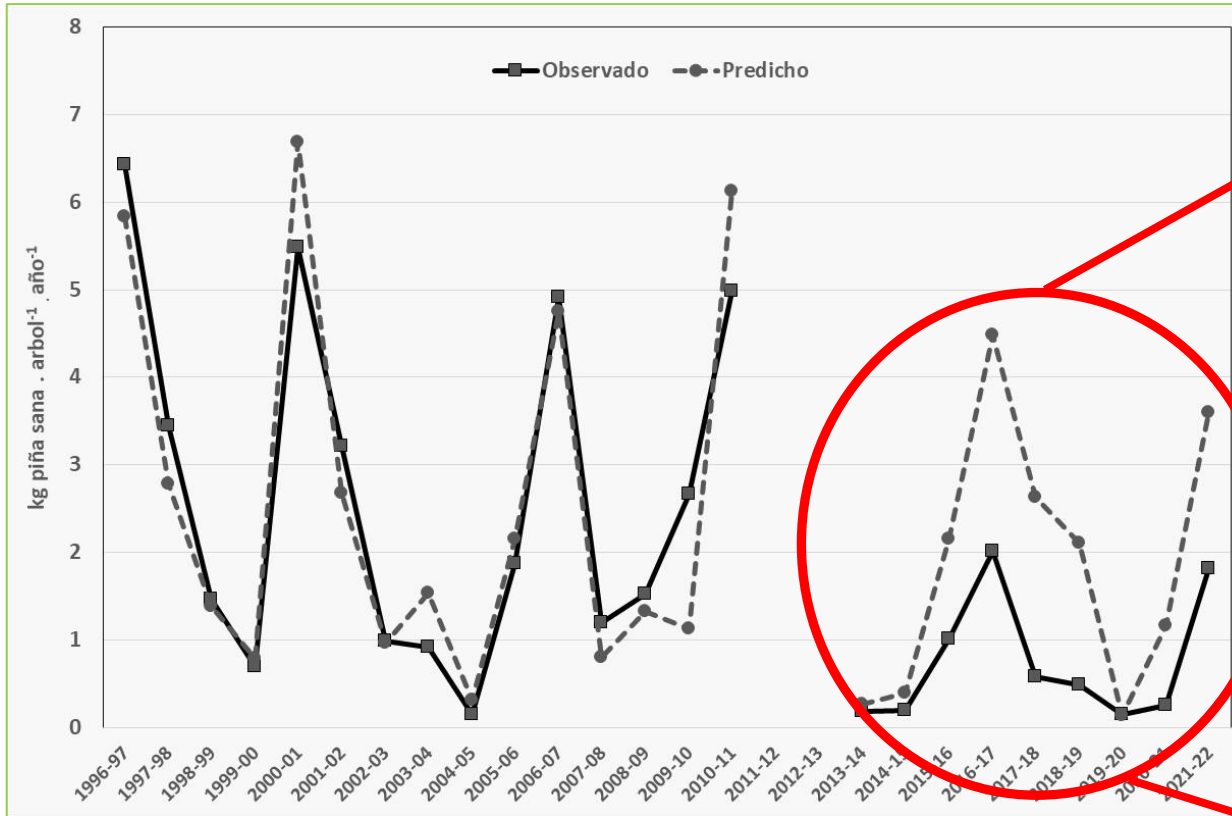
$$\log\left(\frac{\theta}{1+\theta}\right) = -0.3997 + 0,7697 pp_{nv_7_3} + 0,6209 pp_{mr_3_2} + 0,3389 pp_{sp_4_2} + 0,3956 pp_{jl_3_0} - 0,3237 nhel - 0,0020 SDI - 58,0943 (1/dg) + 2,3315 d/dg + UN1 - 0,5422lag_cos$$

$$\log(wc) = -0.8654 + 0.4772 pp_{nv_7_3} + 0,0992 pp_{mr_3_2} + 0,2780 pp_{sp_4_2} + 0,2496 pp_{jl_7_0} - 0,0008 SDI - 25,4095 (1/dg) + 0,0322 d + 1,0931 d/dg + UN2 - 0,3067lag_cos$$

Explica 90% variabilidad interanual y 65% variabilidad entre parcelas

Estimaciones con > 1 año antelación

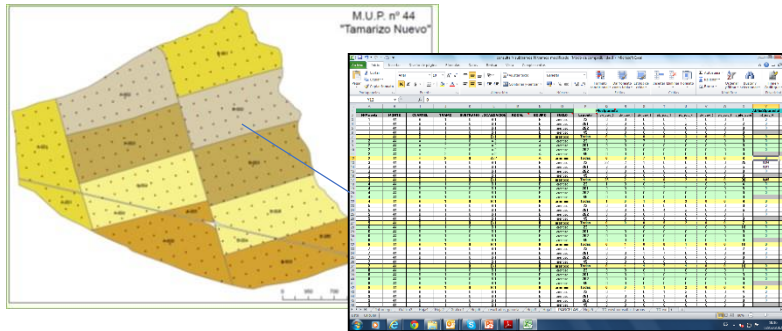
Ejemplo. Modelo producción piña (Calama et al 2016. Forest Systems)



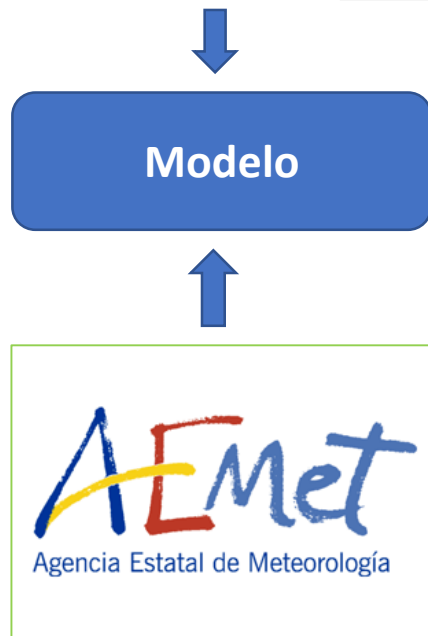


Aplicación PINEA_Climadat: aforo cosechas a escala de monte

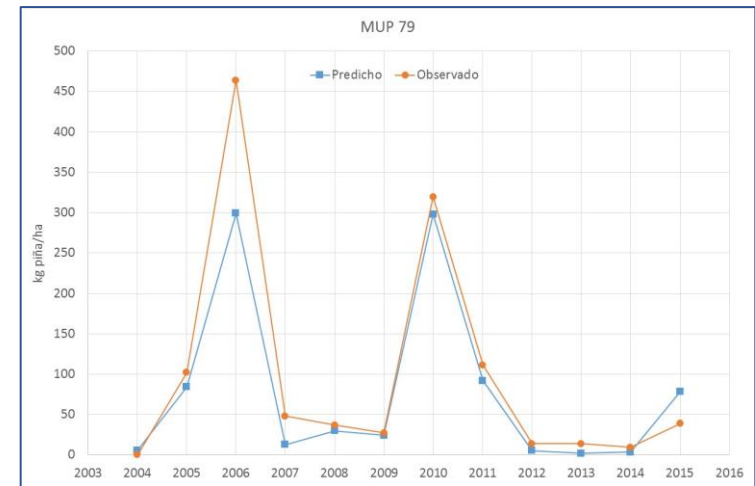
Datos inventario de ordenación JCyL



PROPINEA



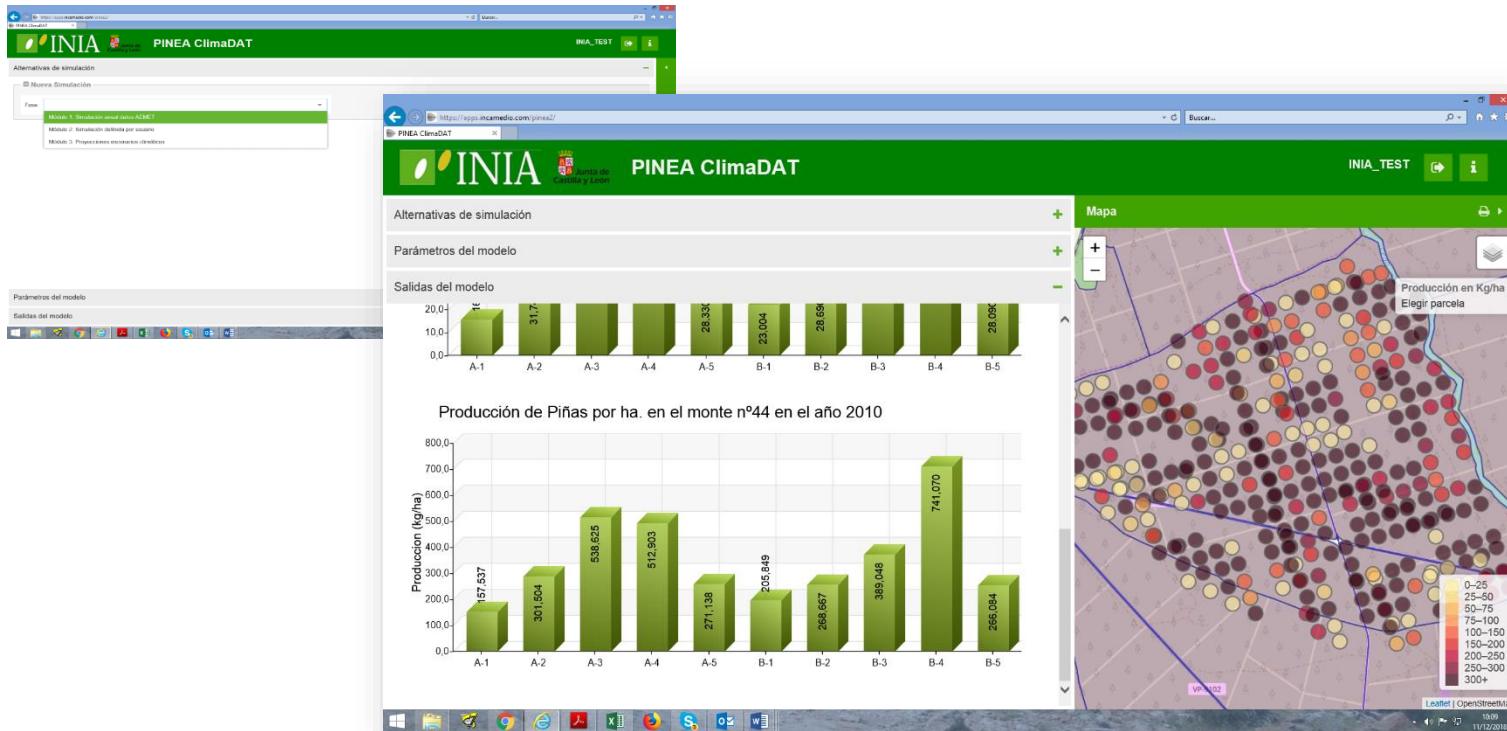
Predicciones a escala de monte



Datos AEMET (open)



Aplicación PINEA_Climadat: aforo cosechas a escala de monte



- Completar la aplicación
- Uso datos PLANFOR JCyL (extensión a Castilla y León)
- Extensión montes privados





Retos para el futuro

- Explicar e integrar las caídas recientes de producción en los modelos
- Mejorar el conocimiento fisiológico – fenológico del proceso e integrarlo en los modelos (experimentos)
- Evaluar uso predictores de sensor remoto
- Extender ámbito de aplicación a otras condiciones - países – regiones
- Compatibles con bases datos (IFN, PLANFOR)
- Producción biológica vs producción aprovechada
- Buscar alternativas: “calibrar” anualmente el modelo con los datos de la red de parcelas

Muchas gracias por vuestra atención

Agradecimientos: GO PINEA, AGL-2017-042-C2.2, EG-17-042-C2.2, IMP-2018-004-C2.2, CC16-095 PROPINEA