



Universidad Politécnica de Valencia

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Programa de Doctorado

Desarrollo de un modelo conceptual dinámico suelo-vegetación para zonas áridas y semiáridas

Tesis Doctoral presentada por:
Diana Isabel Quevedo Tejada

Dirigida por:
Dr. Félix Francés García



Índice

- Introducción
- Aspectos generales
- Modelos
- Modelo HORAS
- Caso de aplicación
- Resultados
- Conclusiones



Introducción



Introducción: Antecedentes

- Los ecosistemas con **restricciones hídricas** son altamente complejos (Rodríguez-Iturbe *et al.* 2001)
- La **humedad del suelo** como clave en la dinámica suelo-vegetación-atmósfera (Isham *et al.* 2005, Rodríguez-Iturbe *et al.* 2001, etc.)
- **Estrategias** de supervivencia
- El problema visto desde **diferentes escalas**
- **Tendencias** en la modelación



Introducción: Objetivo general

Desarrollar un modelo conceptual dinámico suelo-vegetación llamado HORAS, pensado específicamente para ser aplicado en ecosistemas áridos y semiáridos



Introducción: Objetivos específicos

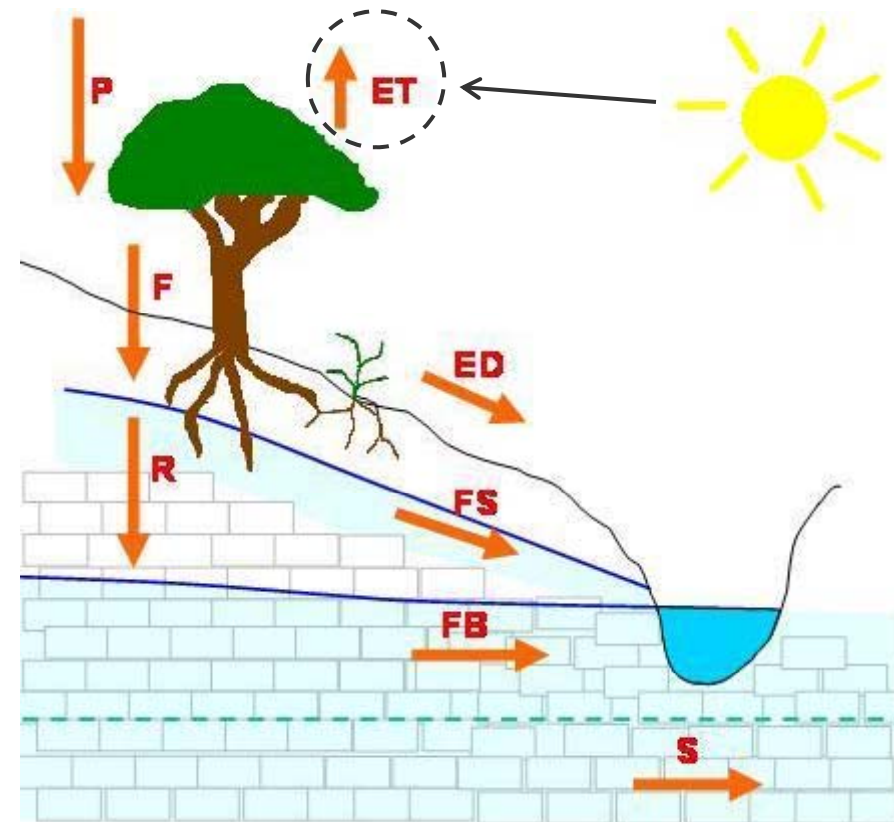
- Formular un modelo de **interacción suelo-vegetación-atmósfera** para climas mediterráneos.
- Usar el concepto de **estrés hídrico** como indicador limitante de la **supervivencia** de la planta, así como la relación **transpiración-biomasa** para cuantificar el crecimiento
- Implementar un **factor de radiación** teniendo en cuenta principalmente la **orientación de ladera**
- Evaluar la evolución de la **biomasa foliar** y otras variables hidrológicas para las orientaciones de ladera **Norte y Sur**

A vertical bar on the left side of the slide, transitioning from dark blue at the top to light blue at the bottom.

Aspectos generales




Aspectos generales: Ciclo hidrológico

- Radiación solar
 - ◆ Evapotranspiración
- Vegetación
 - ◆ Estática
 - ◆ Dinámica



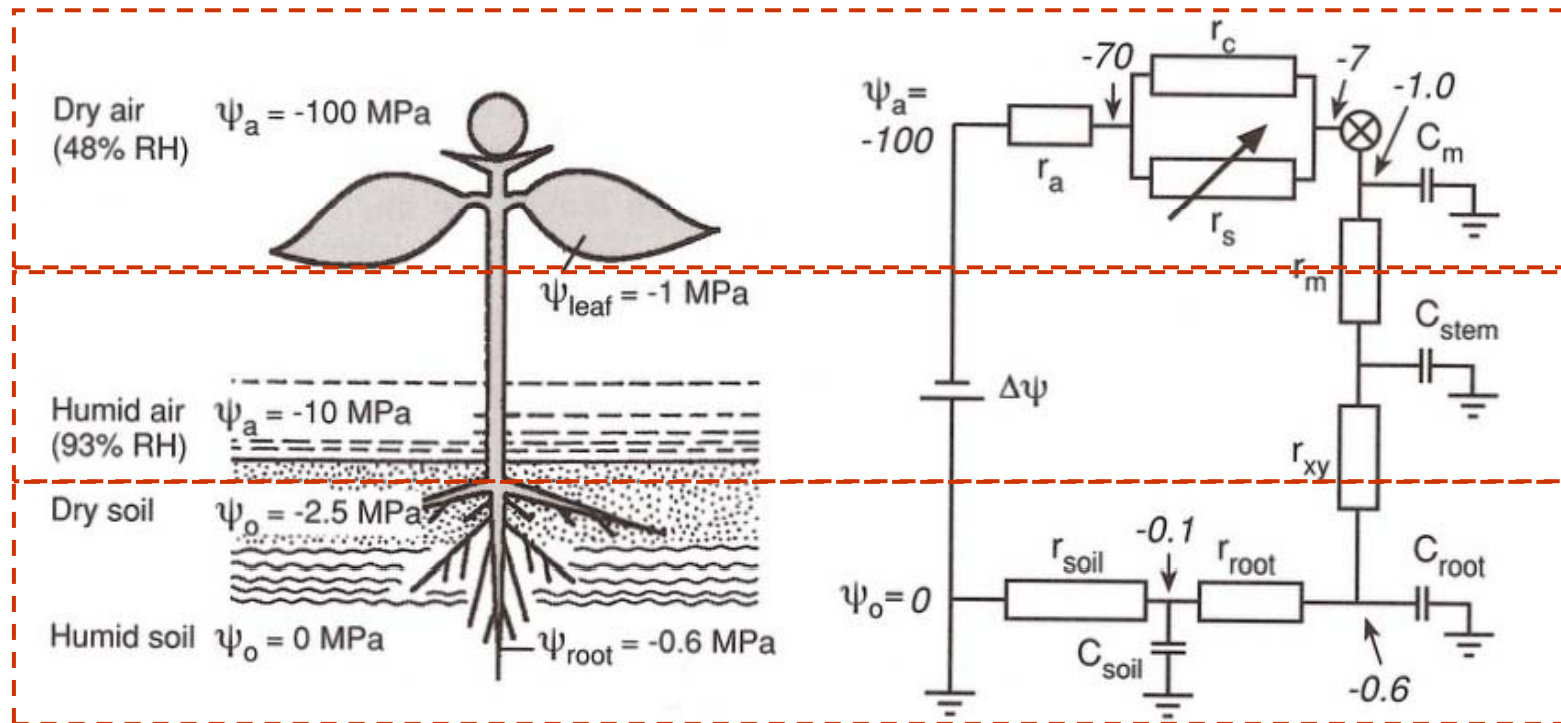
Tomado de F. Francés (curso de Hidráulica e Hidrología)

Aspectos generales: Vegetación

- Estrés  Desviación del estado óptimo de vida (Schulze *et al.* 2005)
 - ◆ Fases  1) De alarma
2) De resistencia
3) De agotamiento
 - ◆ Estrés hídrico  Cambios fisiológicos $f(\text{Potencial hídrico})$
- Estrategias de supervivencia
 - ◆ Elusión de la sequía: ciclo de vida
 - ◆ Evitación de la deshidratación: adaptaciones morfológicas
 - ◆ Tolerancia de la deshidratación: elasticidad protoplasma

Aspectos generales: Continuo suelo-vegetación-atmósfera

■ Analogía con la Ley de Ohm

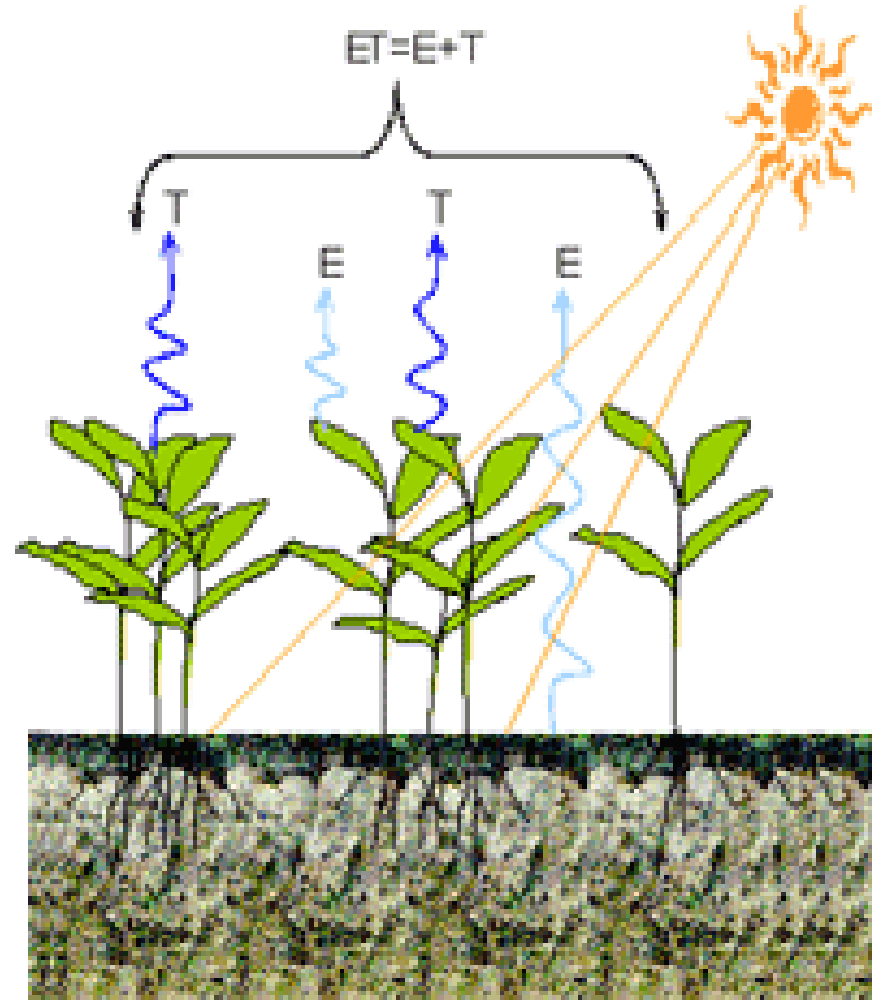


Tomado de Larcher (2003)

Aspectos generales: Evapotranspiración

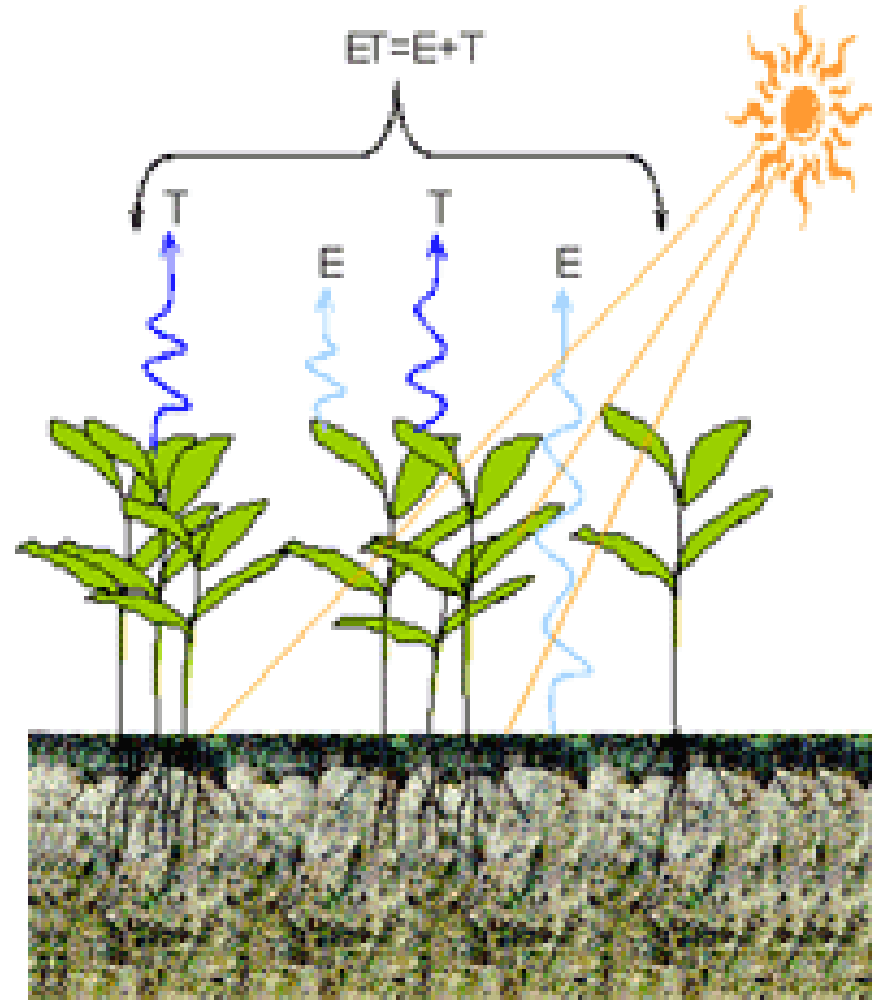
■ Factores

- ◆ Radiación solar
- ◆ Temperatura
- ◆ Velocidad del viento
- ◆ Gradientes de presión de vapor



Aspectos generales: Evapotranspiración

- Factores
- Transpiración
 - ◆ Factores ET
 - ◆ Estomática
- Evaporación desde suelo desnudo
 - ◆ Etapa I (atmósfera)
 - ◆ Etapa II (suelo)



Aspectos generales (vi): Evapotranspiración

- Penman-Monteith (Monteith 1965)

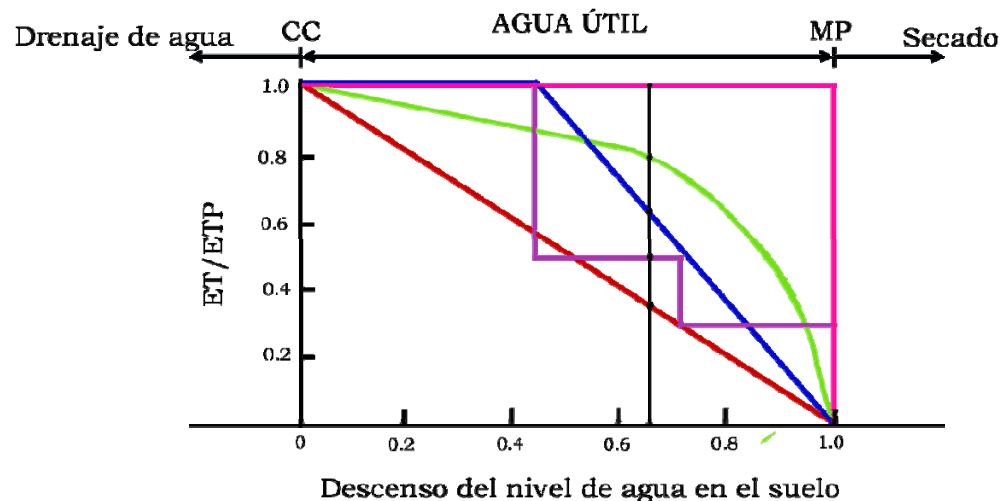


$$ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{e_s - e_a}{e_s}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

- Estimación evapotranspiración real

$$ET = F(\theta_{rel}) \cdot F(veg) \cdot ETP$$

- Curva de extracción



Adaptado de Burman y
Pochop (1994)



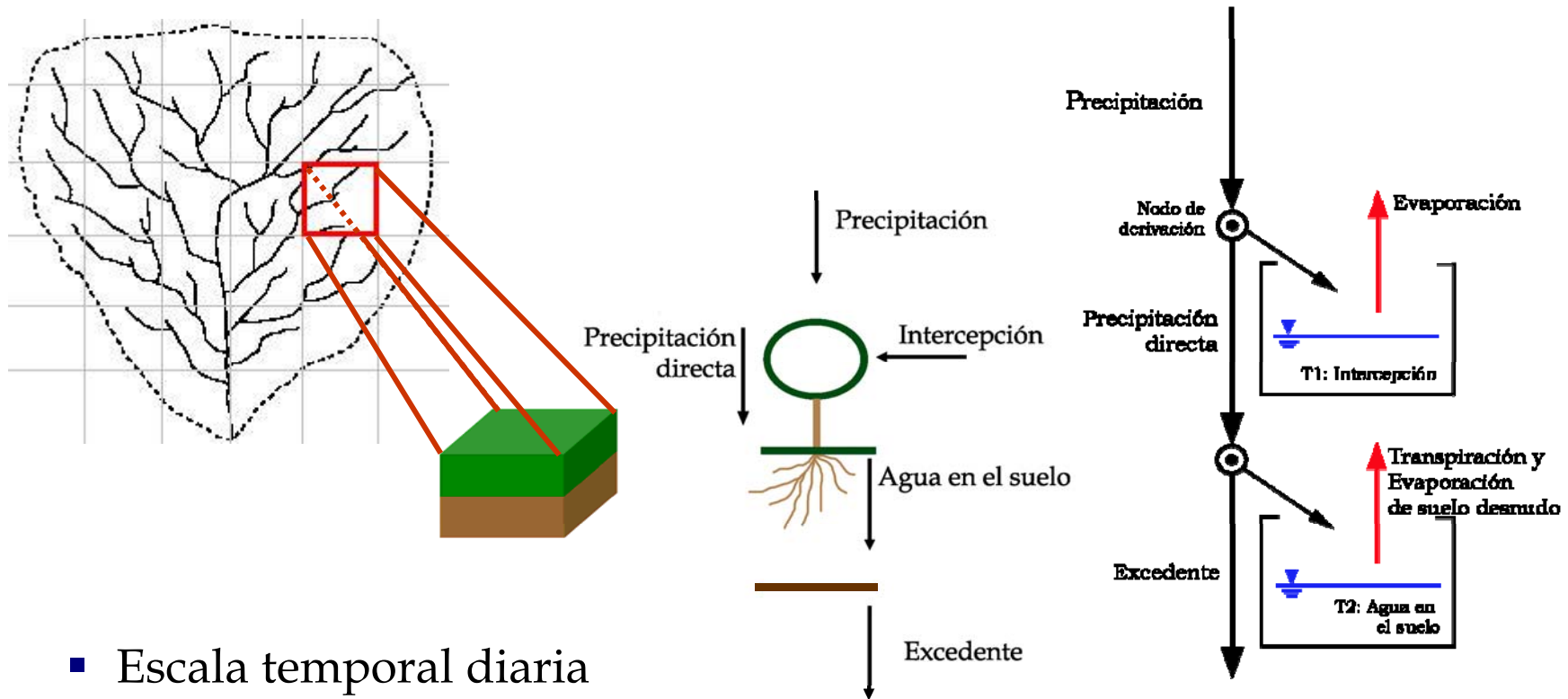
Modelo HORAS



Modelo HORAS: Hipótesis

- ETP > Precipitación (Heisler-White *et al.* 2008, Wainwright *et al.* 1999)
- Restricción principalmente por agua (Guswa *et al.* 2004, Noy-Meir 1973, Rosenzweig 1968)
- Grupos funcionales de vegetación (vegetación natural)
(Arora y Boer 2005, Pausas 1999, Díaz y Cabido 1997, Gitay y Noble 1997)
- No hay procesos sucesionales, (germinación, competencia, ...)

Modelo HORAS: Esquema conceptual



- Escala temporal diaria
- Escala espacial celda de decenas de metros

Modelo HORAS: Orientación de ladera

- Factor de radiación en cada celda

$$\lambda_{Rad,i} = \frac{Rad_i^{Z \neq 0}}{Rad_i^{Z=0}}$$

i = enero, ..., diciembre

- ETP corregida

$$ETP' = \lambda_{rad} \cdot ETP$$



Modelo HORAS: Tanque 1 Intercepción

Precipitación directa

$$P_d = \max[0; P - I_{mx}(R_{t-1}) + I_{t-1}]$$

$R = \text{Biomasa foliar relativa}$

Derivación

$$D_I = P - P_d$$

Almacenamiento provisional

$$I' = I_{t-1} + D_I$$

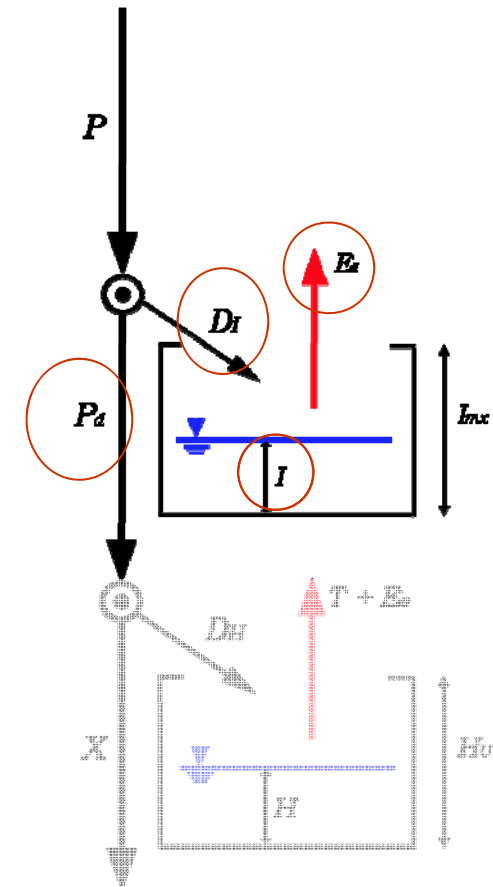
Evaporación agua interceptada

$$E_I = \min[I'; ETP]$$

Almacenamiento final

$$I = I' - E_I$$

Parámetros: I_{mx}



Modelo HORAS: Tanque 2 Agua en el suelo

Excedente

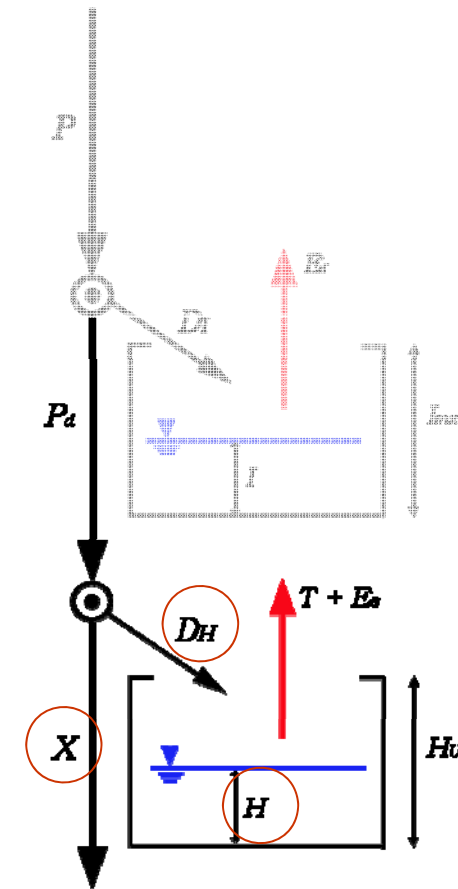
$$X = \max[0; P_d - H_U + H_{t-1}]$$

Derivación

$$D_H = P_d - X$$

Almacenamiento provisional

$$H' = H_{t-1} + D_H$$



Modelo HORAS: Tanque 2 Agua en el suelo

Transpiración

$$T = \min \left[ETP \cdot R_{t-1} \cdot f(\theta), ETP - E_I; H' \right]$$

Almacenamiento provisional

$$H'' = H' - T$$

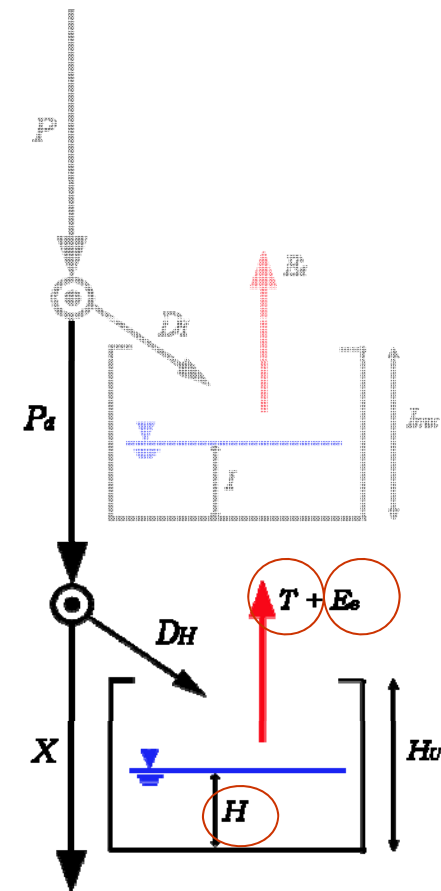
Evaporación desde el suelo desnudo

$$E_S = \min \left[H'' \frac{z_{ss}}{z_e} (1 - R_{t-1}); ETP - E_I - T \right]$$

Almacenamiento final

$$H = H'' - E_S$$

Parámetros: $H_U, H_{CC}, H_{MP}, H^*, z_{ss}, z_e$



Modelo HORAS: Biomasa foliar

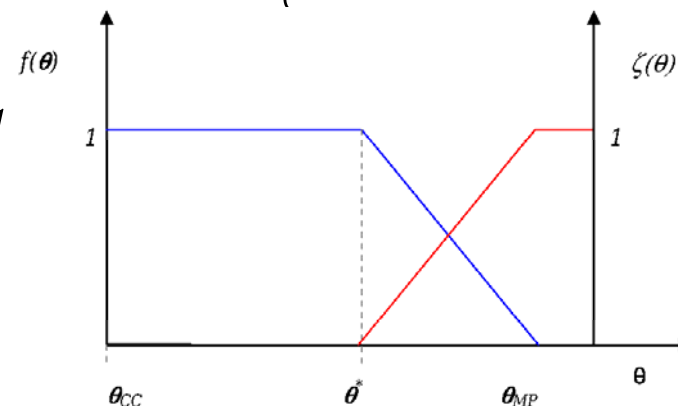
Uso eficiente del agua (Daly *et al.* 2004)

$$WUE = \frac{T/T_{mx}}{A_n/A_{n,mx}}$$

Estrés hídrico (Rodríguez-Iturbe y Porporato 2004; Porporato *et al.* 2001)

$$\zeta = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta < \theta_{MP} \\ \left[\frac{\theta^* - \theta}{\theta^* - \theta_{MP}} \right]^q & \text{si } \theta_{MP} \leq \theta \leq \theta^* \\ 0 & \text{si } \theta_{CC} > \theta^* \end{cases}$$

Parámetros: H^* , H_{MP} , H_{CC} , q



Modelo HORAS: Biomasa foliar

Producción de biomasa foliar

$$\frac{dR}{dt} = \underbrace{\left(\frac{A_{n,mx}}{B_{pot}} \right) \cdot \left(\frac{T}{T_{mx}} \right)^c}_{\text{crecimiento}} - \underbrace{k_{est} \cdot (1 + \zeta) \cdot R}_{\text{muerte}}$$

Biomasa foliar relativa (0-1)

$$R_t = R_{t-1} + \frac{dR}{dt}$$

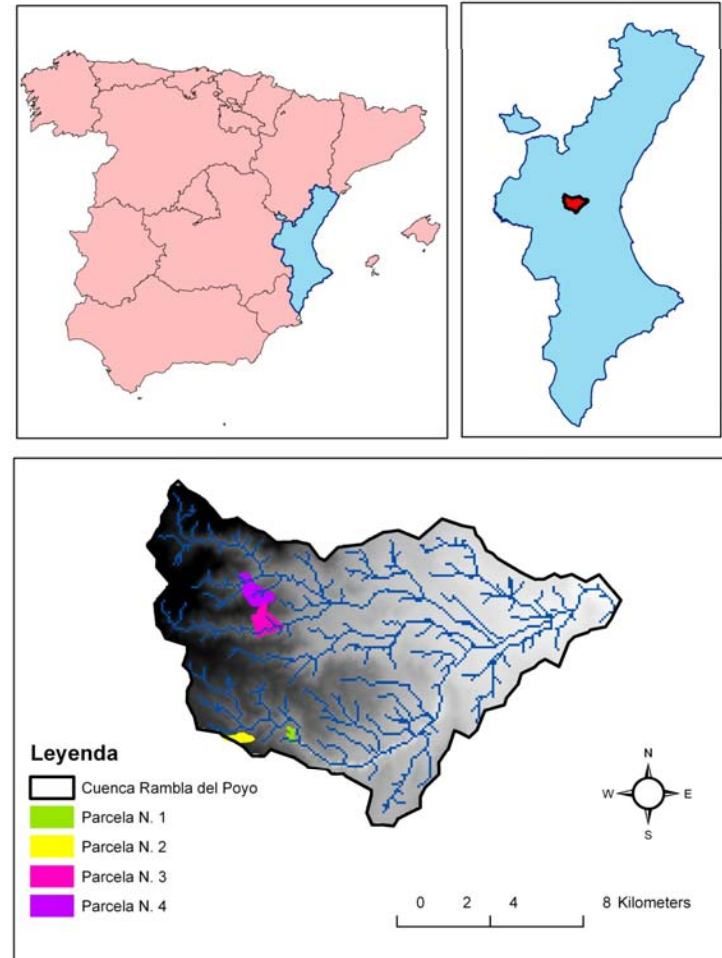
Parámetros: $A_{n,mx}$, B_{pot} , T_{mx} , c , k_{est}



Caso de aplicación

Caso de aplicación: Lugar de estudio

- Cuenca Rambla del Poyo (Valencia-España)
- Cuatro parcelas
 - ◆ Área [13–117] ha
 - ◆ *Quercus coccifera* L.
- Clima mediterráneo
- Series meteorológicas
 - ◆ Período de registro 08/1966 a 08/2001
 - ◆ Precipitación \approx 500mm/año
 - ◆ Temperaturas (ETP \approx 1200mm/año)



Caso de aplicación: Estimación de parámetros del suelo

Parámetro	Nombre	Valor	Referencia
z_e	Profundidad efectiva del suelo	400 mm	
z_{ss}	Profundidad de suelo superficial	50 mm	
H_{cc}	Capacidad de campo	141 mm	$\Psi_{CC} = 0.015\text{MPa}$ Larcher (2003)
H_{MP}	Marchitez permanente	71 mm	$\Psi_{MP} = 3\text{MPa}$ Laio <i>et al.</i> (2001)
H_U	Agua útil	70 mm	

- Relaciones típicas de $\Psi-\theta$. Campbell (1974).
$$\Psi = \Psi_{ae} \left(\frac{\phi}{\theta} \right)^b$$
- ◆ Suelo franco-limoso-arcilloso. Clapp y Hornberger, 1978

Caso de aplicación: Estimación de parámetros de vegetación

Parámetro	Nombre	Valor	Referencia
I_{mx}	Intercepción máxima	1 mm	Federer (2002)
k_{est}	Caída de hoja	0.0018-0.0024 día ⁻¹	Specht (1988)
T_{mx}	Transpiración máxima	4.7 mm día ⁻¹	C. A. Gracia com. per.
$A_{n,mx}$	Asimilación neta máxima	5.7 t ha ⁻¹ año ⁻¹	
B_{pot}	Biomasa foliar potencial	6 t ha ⁻¹	Delitti <i>et al.</i> (2005)
c	Coefficiente de forma		A calibrar
H^*	Contenido óptimo de agua en el suelo	128.8 mm	($\psi^* = 0.03\text{MPa}$) Laio <i>et al.</i> (2001)
q	Coefficiente de forma	1 [-]	Rodríguez-Iturbe y Porporato (2004)

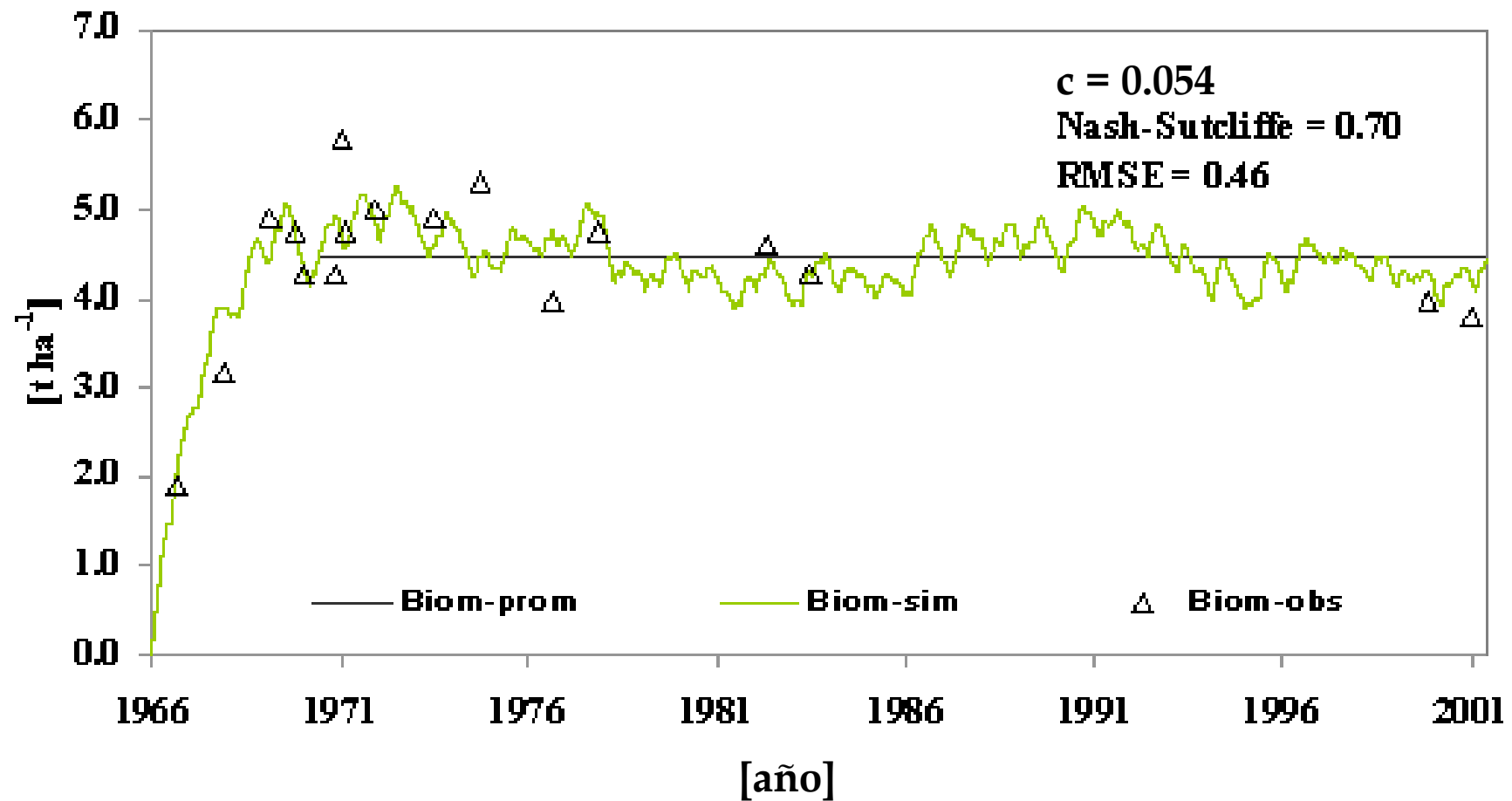


Caso de aplicación: Calibración

- **Datos observados** (Cañellas y San Miguel, 2000)
 - ◆ Dieciocho puntos muestreados
 - ◆ Ubicados en zonas cercanas a parcelas de estudio
 - ◆ Comunidades afectadas por incendios
- **Parámetro c calibrado**
 - ◆ Evolver (Algoritmo genético de optimización)

$$\frac{dR}{dt} = \left(\frac{A_{n, mx}}{B_{pot}} \right) \cdot \left(\frac{T}{T_{mx} R} \right)^c - k \cdot (1 + \zeta) \cdot R$$

Caso de aplicación: Calibración

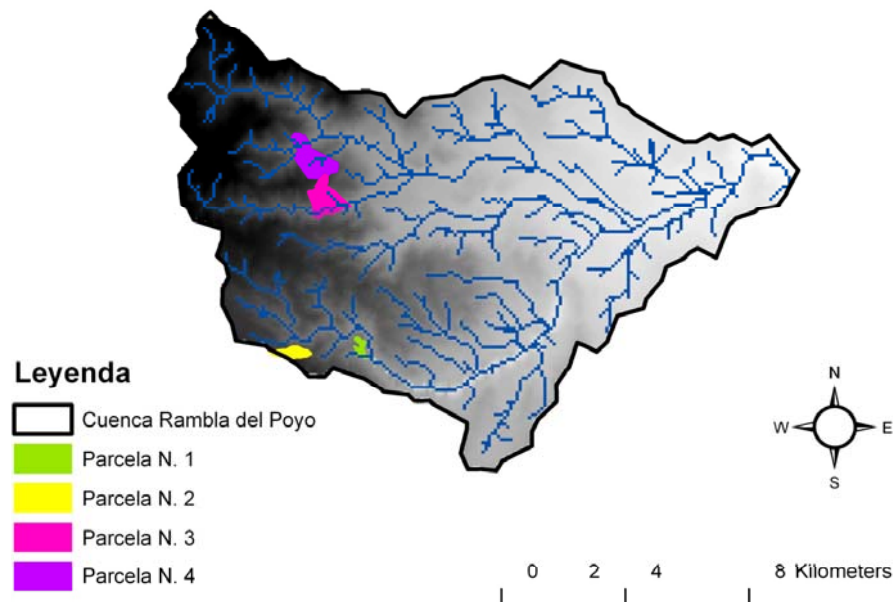


Caso de aplicación: Validación

- Doce imágenes de satélite Landsat

 - ◆ Índice diferencial de vegetación normalizado NDVI

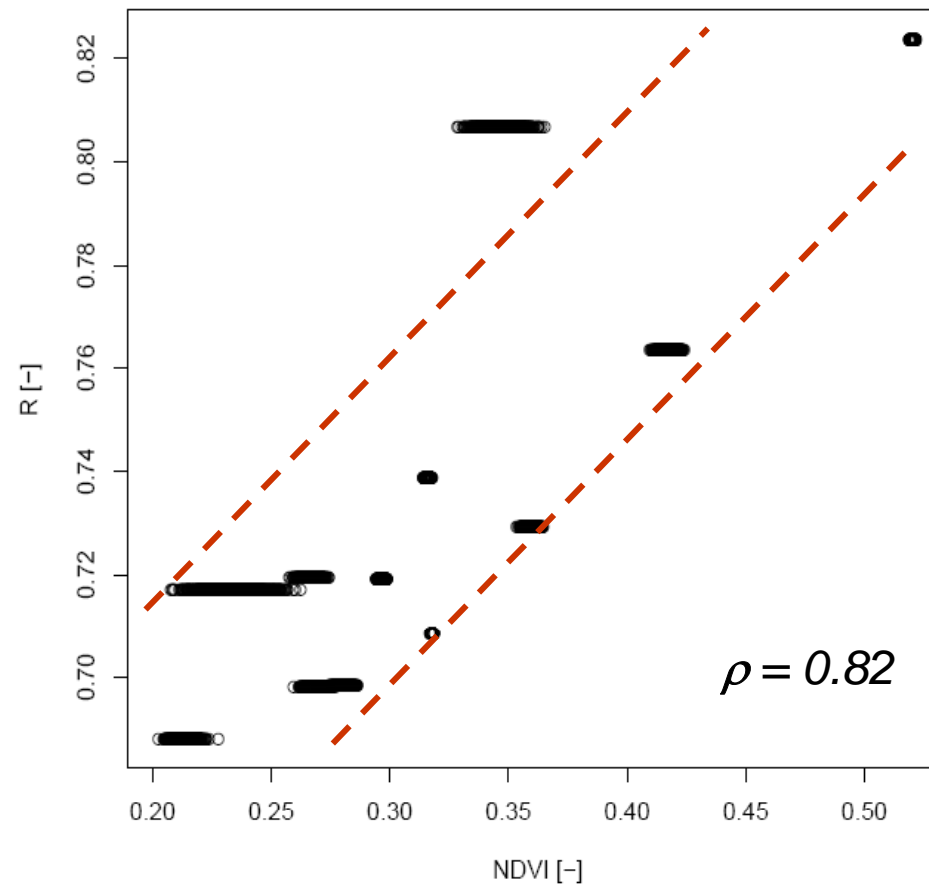
 - *Cuatro parcelas Rambla del Poyo*



Fecha	Satélite	Sensor	Path/Row	Resolución píxel
29-jul-76	L2	MSS	214/032	60m
24-mar-78				
19-jul-84	L5	TM	199/033	30m
24-nov-84				
11-ene-85				
13-ago-87				
06-sep-90				
20-abr-92				
29-ene-00	L5	TM	199/033	30m
27-oct-00				
08-jun-01				
30-oct-01				

Caso de aplicación: Validación

- *Bootstrap*: Técnica de remuestreo con reemplazo

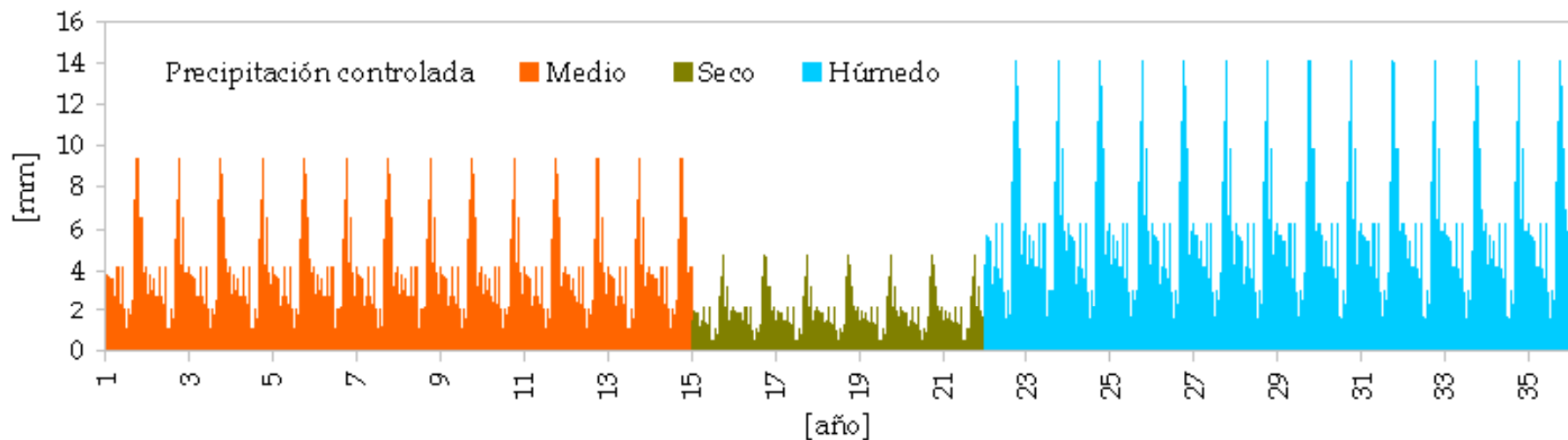


A vertical bar on the left side of the page with a gradient from dark blue at the top to light blue at the bottom.

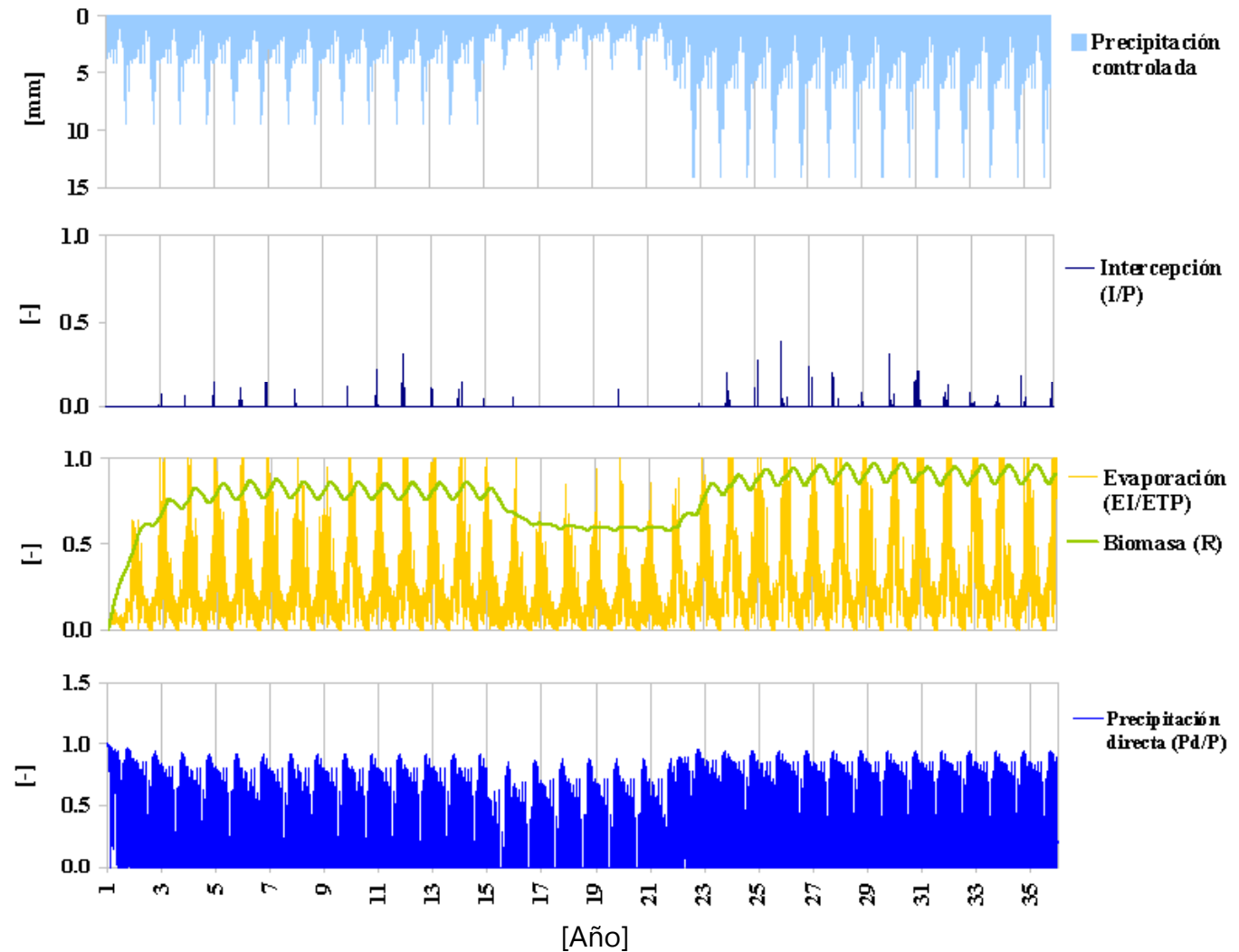
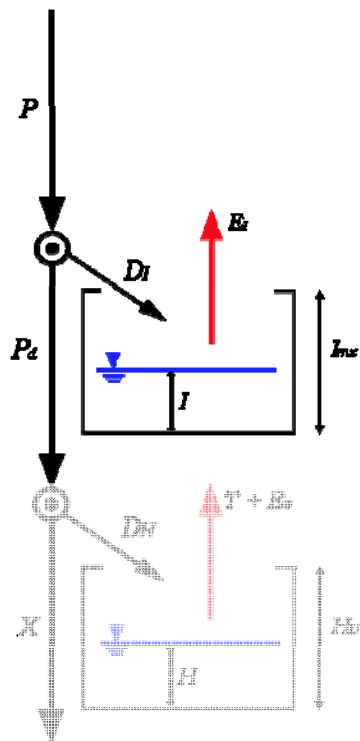
Resultados

Resultados: Generación escenarios

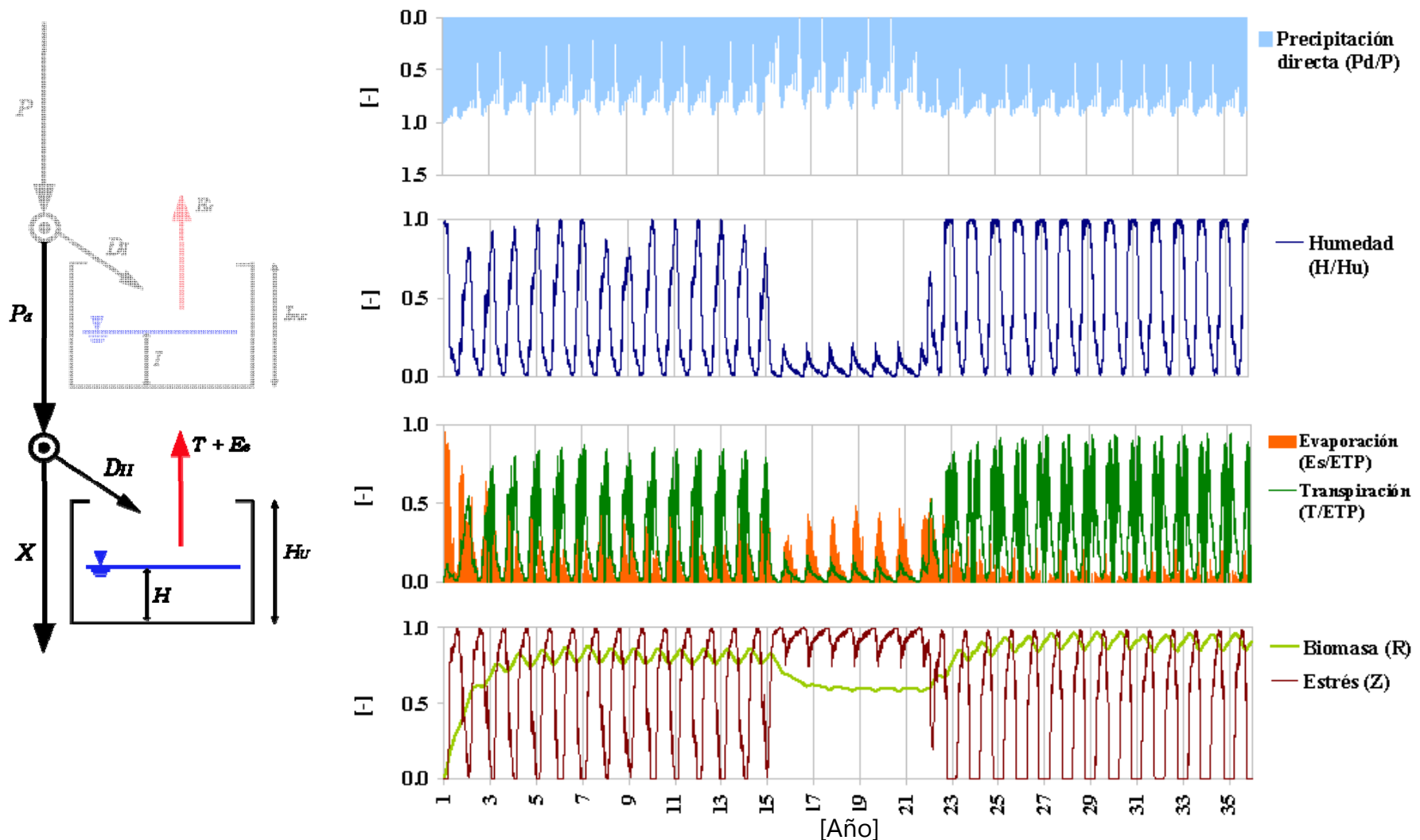
- Precipitación anual tipo (PT)
- Escenarios
- Serie temporal de Precipitación controlada para 35 años



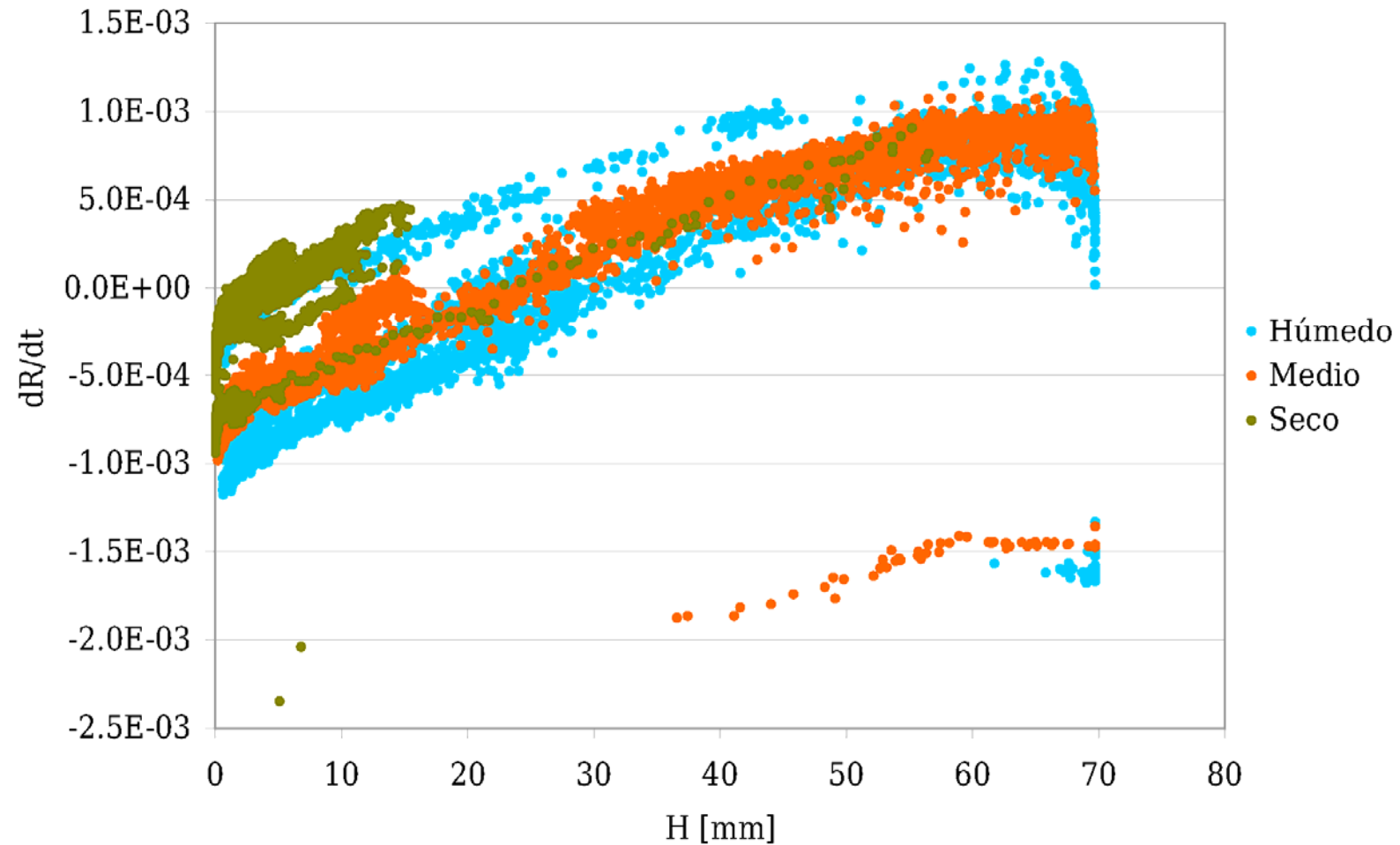
Resultados: Tanque 1



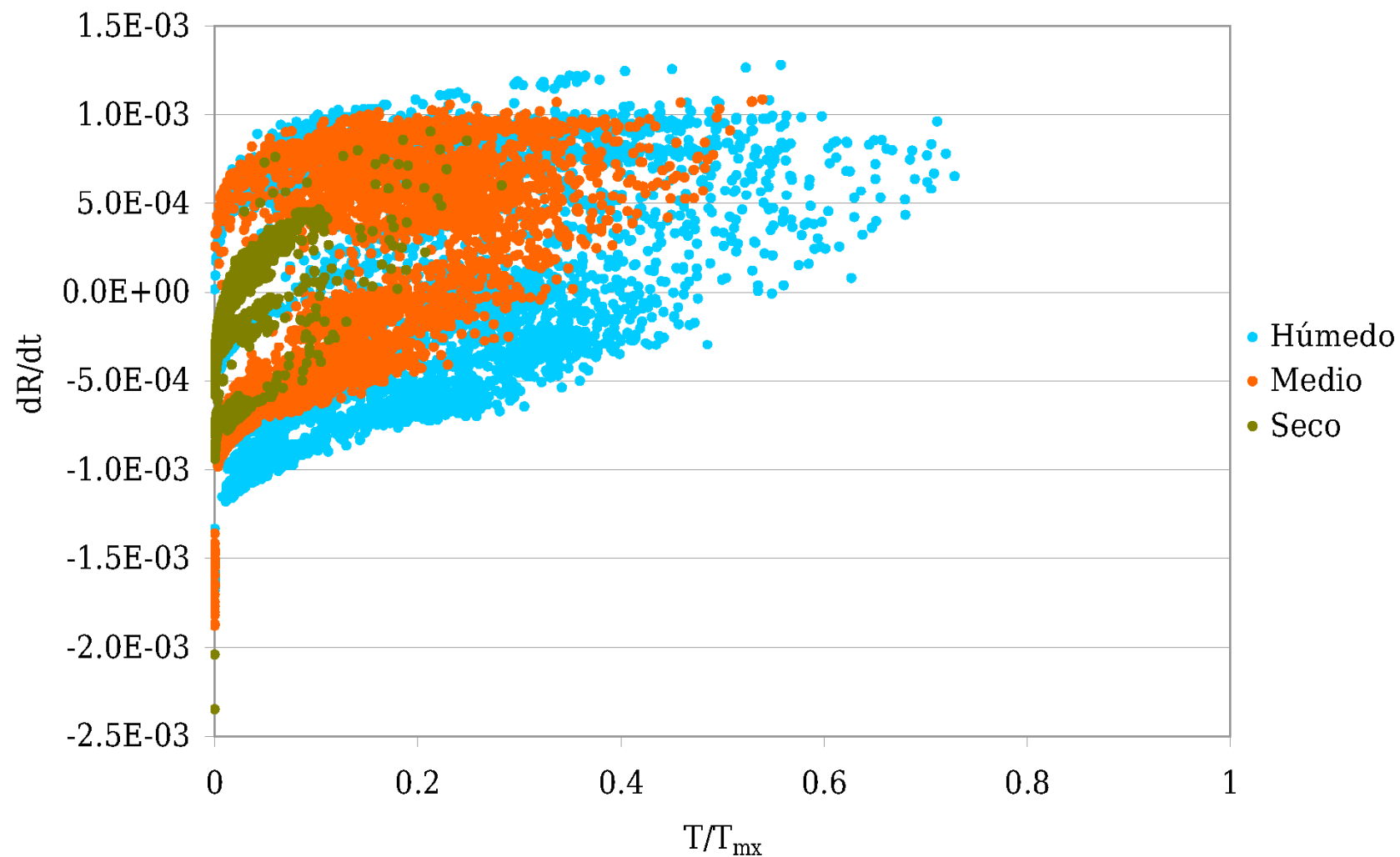
Resultados: Tanque 2



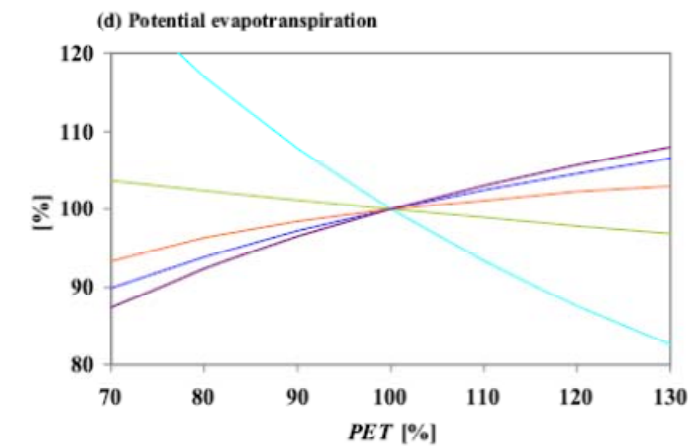
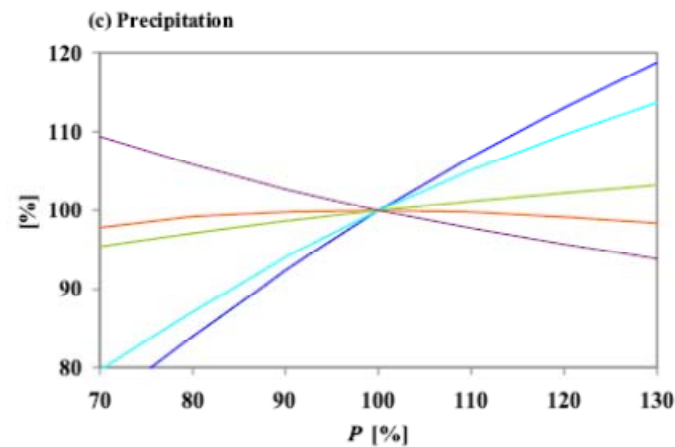
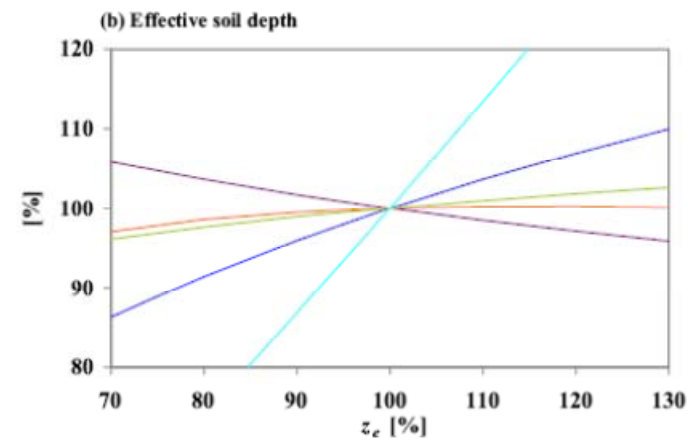
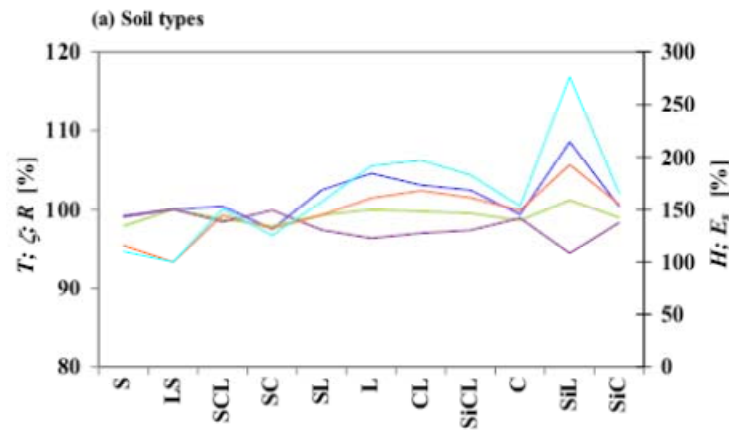
Resultados: Relación Producción biomasa vs. Humedad



Resultados: Uso del agua



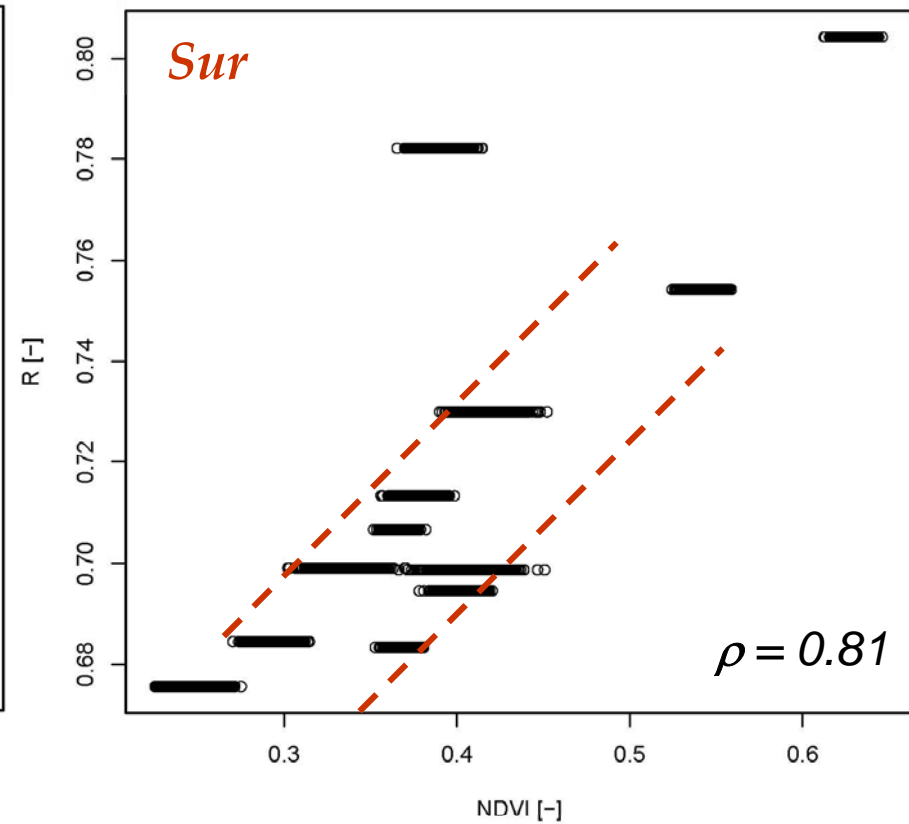
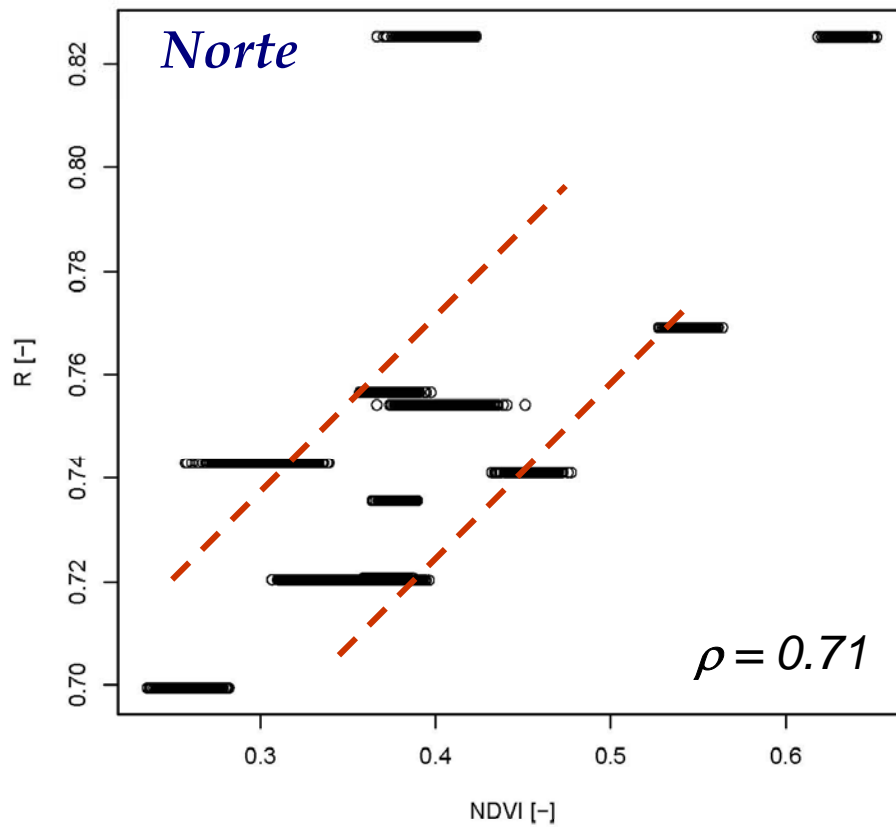
Caso de aplicación: Análisis de sensibilidad



— T — E_s — H — R — ζ

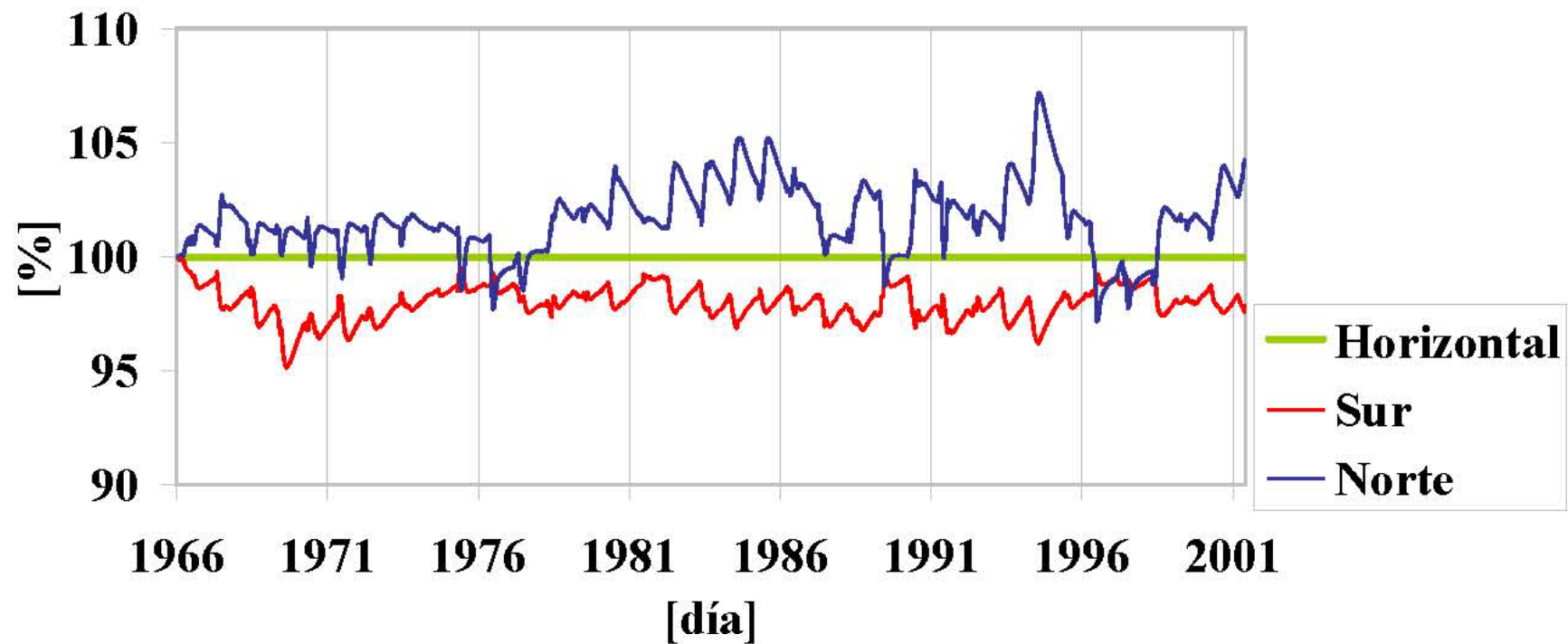
Tomado de Quevedo y Francés (2008)

Resultados: Orientación



Resultados: Orientación

- Kruskal-Wallis ($H=18364.72$, $gl=1$, $p\text{-value}<2.2*10^{-16}$).





Conclusiones



Conclusiones

- El modelo HORAS es sencillo, fácil de implementar y parsimonioso
- El modelo HORAS modificado es capaz de capturar:
 - ◆ Dinámica de la biomasa foliar (crecimiento/decrecimiento)
 - ◆ La influencia de la **orientación de la ladera**.
 - ◆ **Diferencia de cantidad de biomasa foliar** entre laderas norte y sur.
- En la conceptualización del modelo HORAS, la **evapotranspiración potencial** juega un papel de alta relevancia
 - ◆ **Balance** energético e hídrico.
- El Factor de Radiación, permite **re-determinar la evapotranspiración potencial**.



Conclusiones

- Es acertada la elección de las variables condicionantes del crecimiento/decrecimiento
- Es adecuada la formulación de la ecuación diferencial de producción de biomasa foliar



Líneas futuras



Líneas futuras: Modelación

- **Acoplar** el modelo HORAS a un modelo hidrológico distribuido
- Probar la bondad del modelo con parámetros correspondientes a otras especies
- Modelización de ecotonos o transiciones entre grupos funcionales, así como los procesos de sucesión



Líneas futuras: Aplicación

- Gestión y planificación de cuencas
- Programas de reforestación
- Comparación de HORAS acoplado a un modelo hidrológico con otros modelos con funciones y objetivos similares
- Evaluar las bondades del modelo y la respuesta de la vegetación ante los diferentes escenarios climáticos contemplados dentro del *Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*



Gracias