



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA
Y MEDIO AMBIENTE

GIMHA
Grupo de Investigación de Modelación
Hidrológica y Ambiental

DESARROLLO DE UN MODELO ECOHIDROLÓGICO PARA EL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE ECOSISTEMAS RIPARIOS



Autora: Alicia García Arias
Director: Dr. Félix Francés García

Valencia, Julio 2015



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA
Y MEDIO AMBIENTE

DESARROLLO DE UN MODELO ECOHIDROLÓGICO
PARA EL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE
ECOSISTEMAS RIPARIOS

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Ribera: definición y características



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Ribera

Vegetación de ribera

- Gran densidad de biomasa, diversidad y complejidad estructural
- Diversidad de hábitats (fauna terrestre y acuática)
- Estabilidad del cauce (retención de sedimentos)
- Calidad del agua (regulación de temperatura, barrera frente a contaminantes, etc.)



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Ribera

Vegetación de ribera

Relación entre caudales y vegetación riparia

- Profundidad de la capa freática: factor esencial de desarrollo
- Perturbaciones hidrológicas: reinicio de la sucesión
- Vegetación riparia ↔ Hidrología

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDm

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Ribera

Vegetación de ribera

Relación entre caudales y vegetación riparia

Afecciones antrópicas

- El estado de las riberas en España no es bueno
- Gestión hidrológica → requerimientos mínimos para su correcto desarrollo
 - Necesidad de herramientas de predicción

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

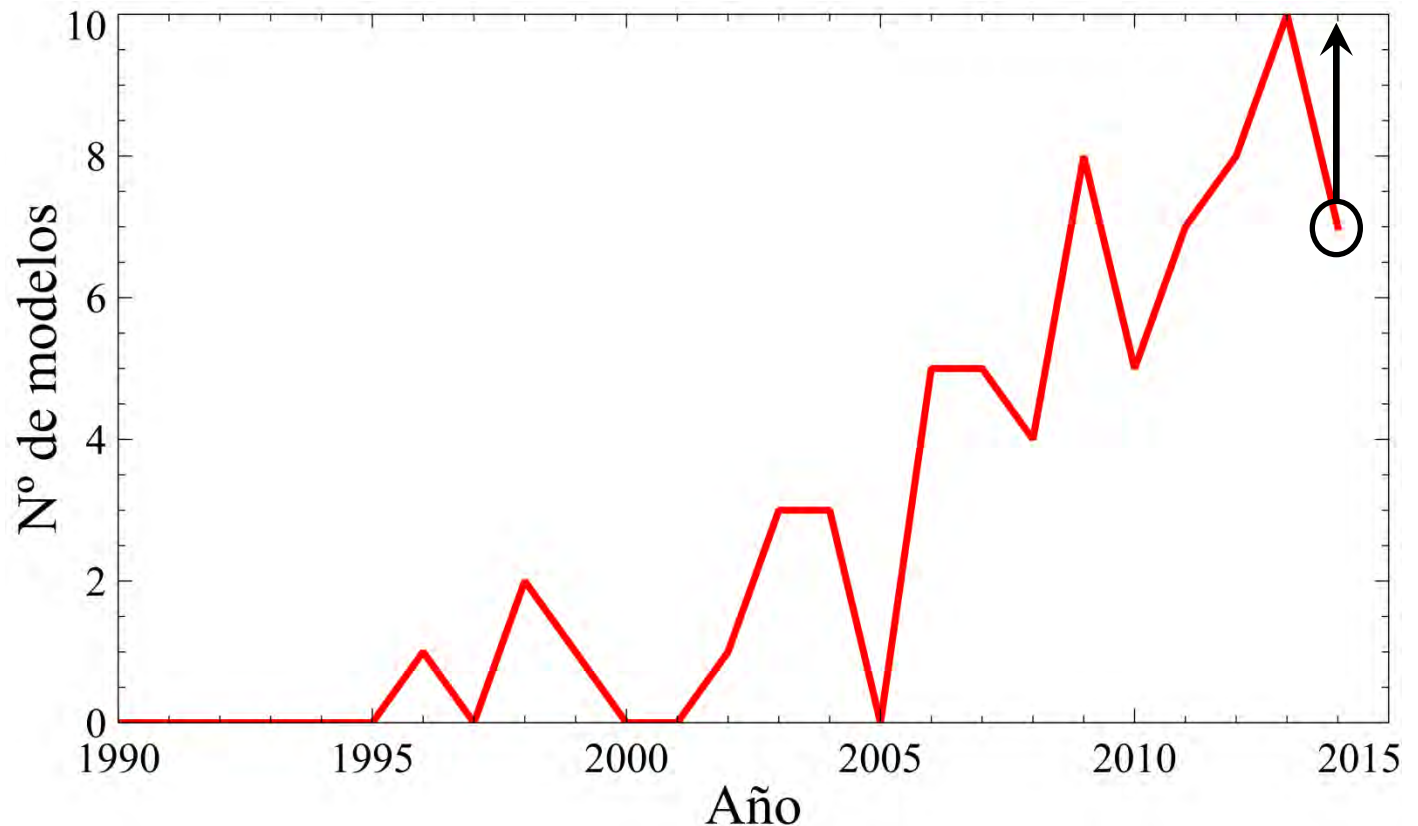
6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

"Riparian Vegetation Model"

Busqueda en Google Scholar





Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Modelos de vegetación de ribera

Modelo	Referencia
Determinístico empírico, regresión (profundidad del nivel freático)	Stromberg, 1993
Determinístico conceptual (profundidad del nivel freático, distancia al cauce, uso suelo)	Bogner <i>et al.</i> , 1996
MODFLOW : modelo determinístico conceptual (curvas fijas de ET)	Harbaugh y McDonald, 1996
Recruitment Box : determinístico conceptual (supervivencia de semilla, elevación caudal medio)	Mahoney y Rood, 1998
ETS1 : modelo determinístico conceptual (curvas fijas de ET)	Banta, 2000
REMM : modelo determinístico conceptual (ET, posición en el dosel vs altura, ubicación respecto al cauce)	Altier <i>et al.</i> , 2000
RIP-ET : modelo determinístico conceptual (curvas fijas de ET)	Maddock III y Baird, 2003
Determinístico conceptual (duración de inundación, uso del suelo, intensidad del pastoreo)	Baptist <i>et al.</i> , 2004
Combinado determinístico y estocástico (impactos, crecimiento función ET, reclutamiento estocástico)	Hooke <i>et al.</i> , 2005
Determinístico conceptual (curvas gaussianas de respuesta vegetal, duración de inundación)	Friedman <i>et al.</i> , 2006
Modelo estocástico (probabilidad de biomasa)	Camporeale y Ridolfi, 2006
Determinístico conceptual (Función logística de crecimiento de biomasa)	Perucca <i>et al.</i> , 2006
CAESAR : dinámico, determinístico conceptual (crecimiento lineal, resistencia a la erosión del lecho)	Coulthard <i>et al.</i> , 2007
RibAV : determinístico físicamente basado (bienestar vegetal, humedad del suelo, acceso nivel freático, ET)	Morales, 2010
CASiMiR-vegetation : dinámico, determinístico conceptual (reclutamiento, impactos y evolución)	Benjankar <i>et al.</i> , 2011
Combinado determinístico y estocástico (impactos, crecimiento logístico, reclutamiento estocástico)	Ye <i>et al.</i> , 2013



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Objetivo 1: Revisión e **implementación** de modelos preexistentes **de referencia**

Objetivo 2: Desarrollo de un **nuevo modelo útil** para la toma de decisiones en **gestión hidrológica**

Objetivo 3: Implementación del modelo para comprobar que **mejora los resultados**

Objetivo 4: Análisis de **escenarios** que demuestre que el modelo es **sensible** a los cambios asociados y que los resultados son **representativos**

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Terde (Río Mijares) UTM30-ETRS89: 689183, 4448735 m

- Sup. cuenca: 665 km²
- 539 m longitud, 850 msnm
- Régimen de flujo: **permanente**
- **No existe regulación** aguas arriba
- Vegetación dominante:
 - **Chopos y sauces**
 - **Carrizo y cañas**
 - **Encinas y enebros**
- Sustrato variado



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Serie de precipitaciones

$$d_{0j} = \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}, \quad j = 1, \dots, n$$

$$w_{0j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{0j}^2}}$$

$$P_0 = \sum_{j=1}^n w_{0j} P_j$$

Tramo	Nombre de la estación	Provincia	Indicativo	Altitud	Periodo de datos disponibles
Terde	La Puebla de Valverde	Teruel	8459	1129	08/42-05/96
	Mora de Rubielos	Teruel	8466	1039	03/48-11/81
	Rubielos de Mora	Teruel	8470	949	03/55-12/05
	San Agustín	Teruel	8473	959	04/53-09/09
	Sarrión	Teruel	8463O	981	11/85-08/09
	Sarrión Comarcal	Teruel	8463P	900	07/92-01/08
	Sarrión (La Escaleruela)	Teruel	8464	860	03/48-11/94

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

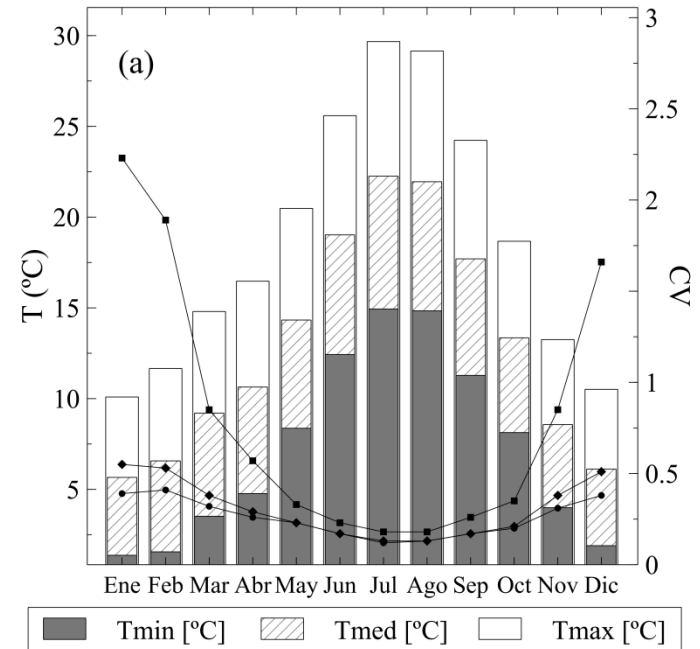
7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Series de temperaturas

$$T_0 = \sum_{j=1}^n w_{0j} [T_j + \beta (z_0 - z_j)]$$

$$\beta = -6.5^{\circ}C / 1000m$$



Tramo	Nombre de la estación	Provincia	Indicativo	Altitud	Periodo de datos disponibles
Terde	Sarrión	Teruel	8463O	981	01/86-07/09
	Sarrión Comarcal	Teruel	8463P	900	07/92-01/08

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

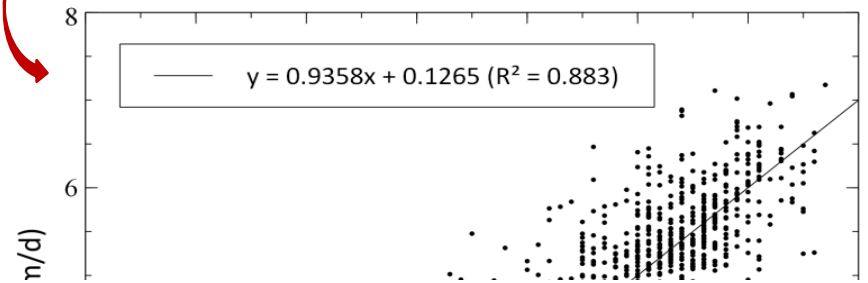
6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

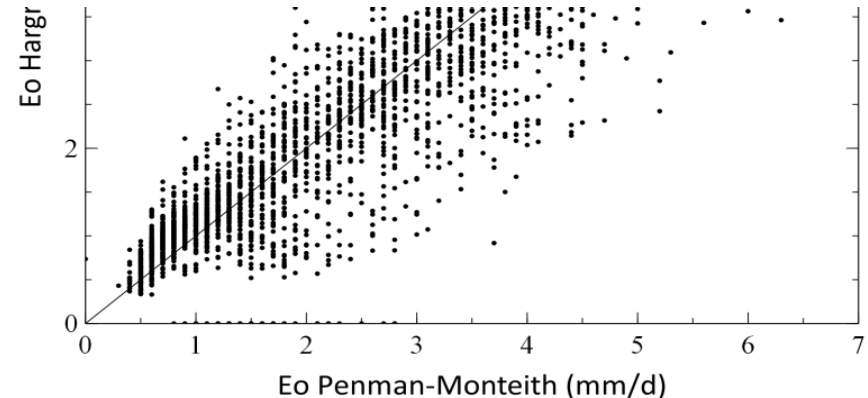
8. Conclusiones

Series hidro-meteorológicas históricas

➤ Serie de ET_0 $ET_0 = 0.0023 \left(T_{med} + 17.78 \right) \left[R_a \left(T_{max} - T_{min} \right) \right]^{0.5}$



$ET_0 = 0.001887 \left(T_{med} + 17.78 \right) \left[R_a \left(T_{max} - T_{min} \right) \right]^{0.5}$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

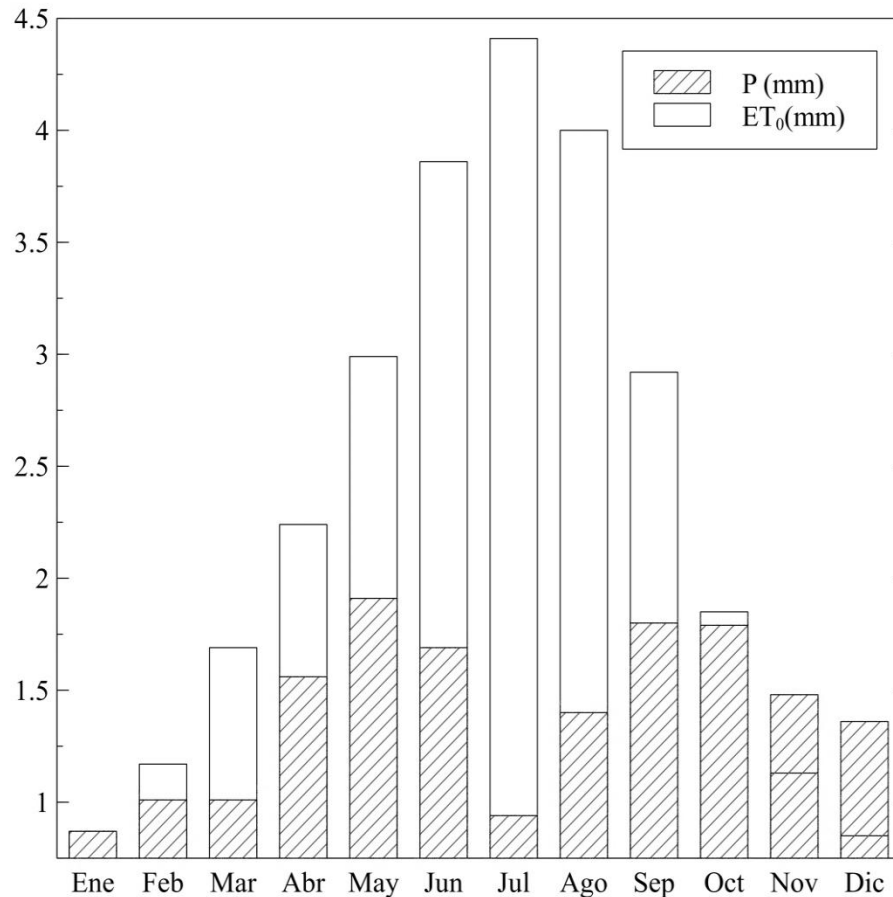
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Típicamente mediterráneo semiárido



Periodo:
1949 - 2009

P = 506 mm/año

ET₀ = 843 mm/año

ET₀ > P

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

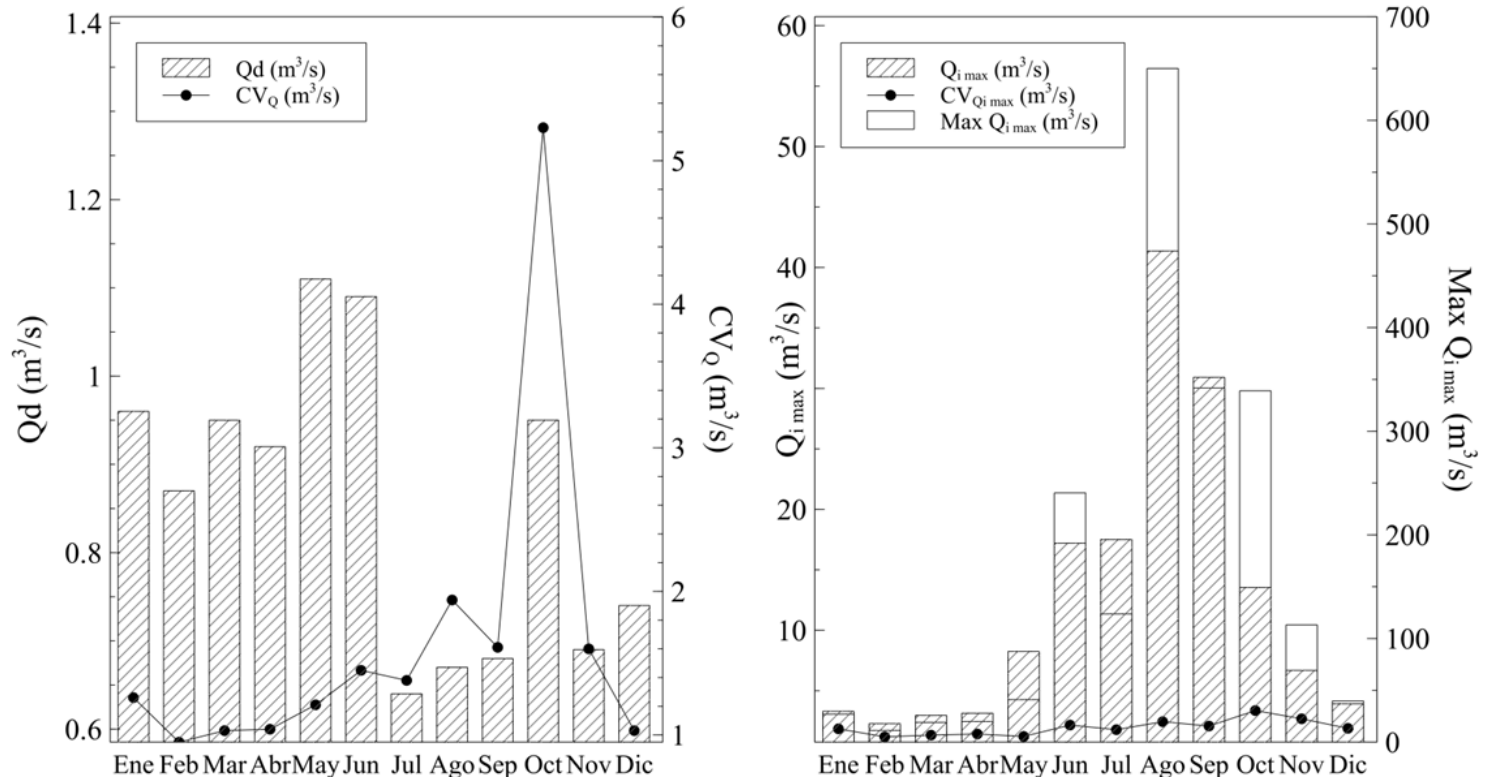
6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Régimen de flujo permanente (1949-2009)

➤ $Q_d: 0.864 \text{ m}^3/\text{s}$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

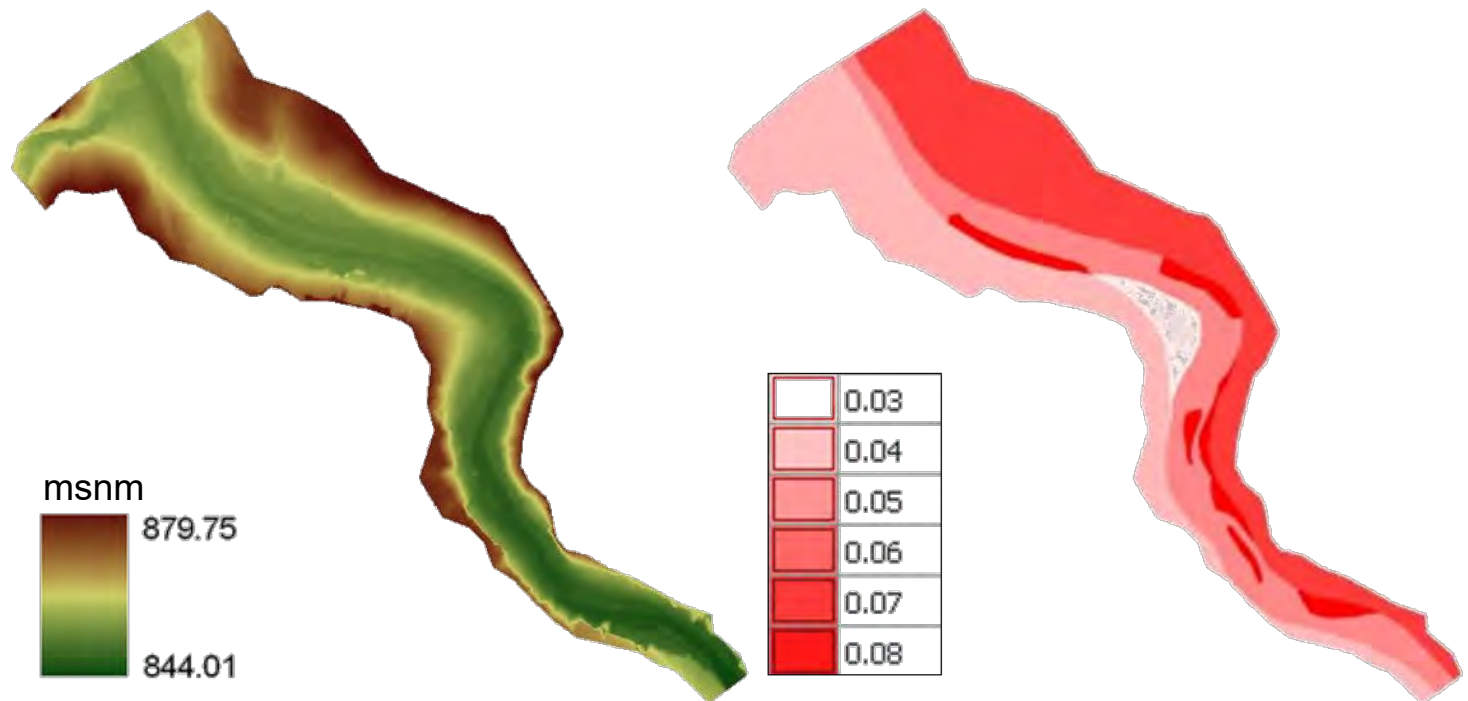
6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Simulaciones hidráulicas: GUAD 2D

- Modelo de elevación digital (msnm)
- Capa de rugosidades de Manning



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

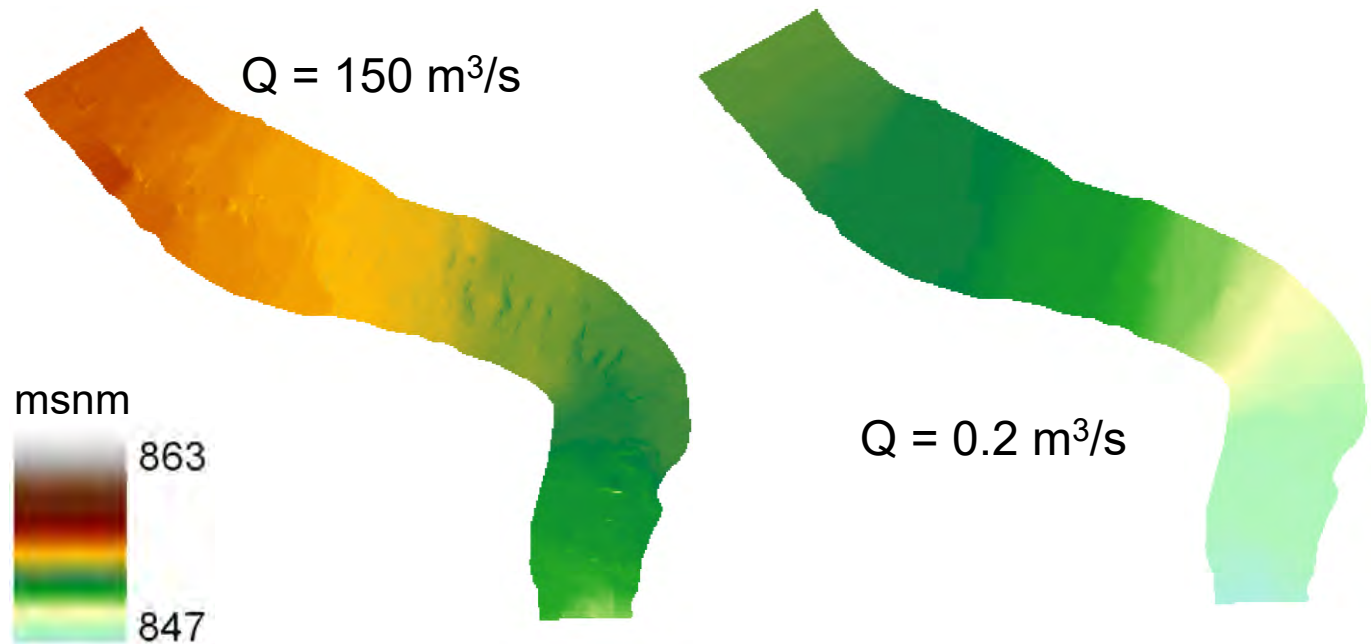
6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Elevaciones lámina de agua y nivel freático

- NF horizontal bajo los bancos
- Algoritmo de proximidad de Thiessen



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

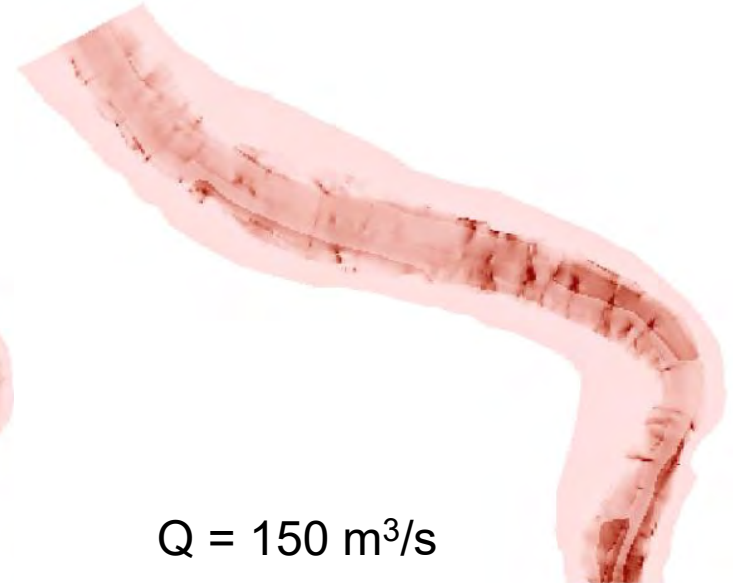
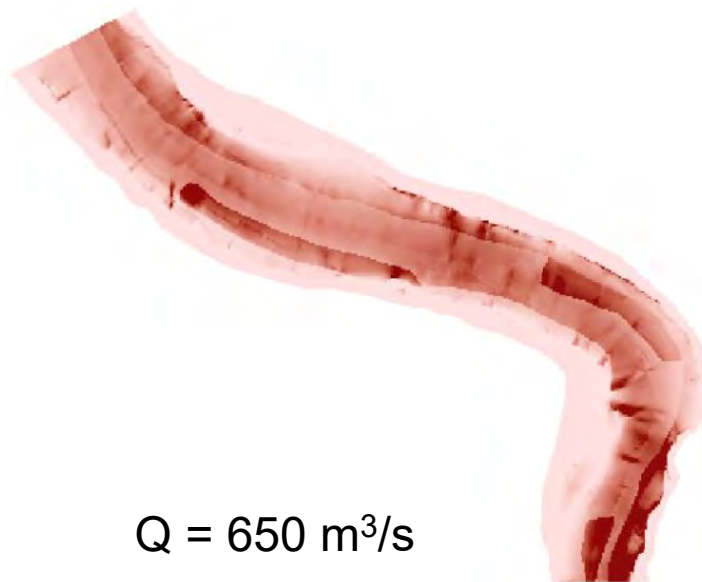
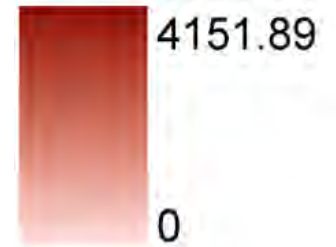
8. Conclusiones

Tensión tangencial

$$\tau = \rho \cdot u^{*2}$$

$$u^* = 2.102 \frac{v \cdot n}{y^{1/6}}$$

N/m²



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

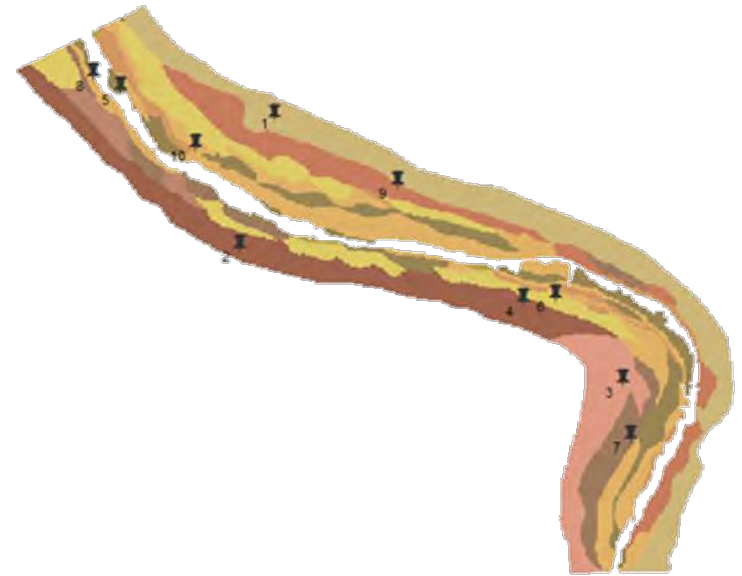
6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Tipos y parámetros de suelo

Muestras de suelo
(30-60 cm de
profundidad)



Parámetros

Humedad a capacidad de campo [] (típicamente a 33 Kpa)

Porosidad []

Conductividad hidráulica saturada [mm/hr]

Presión de burbujeo [Kpa]

Índice de porosidad []

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

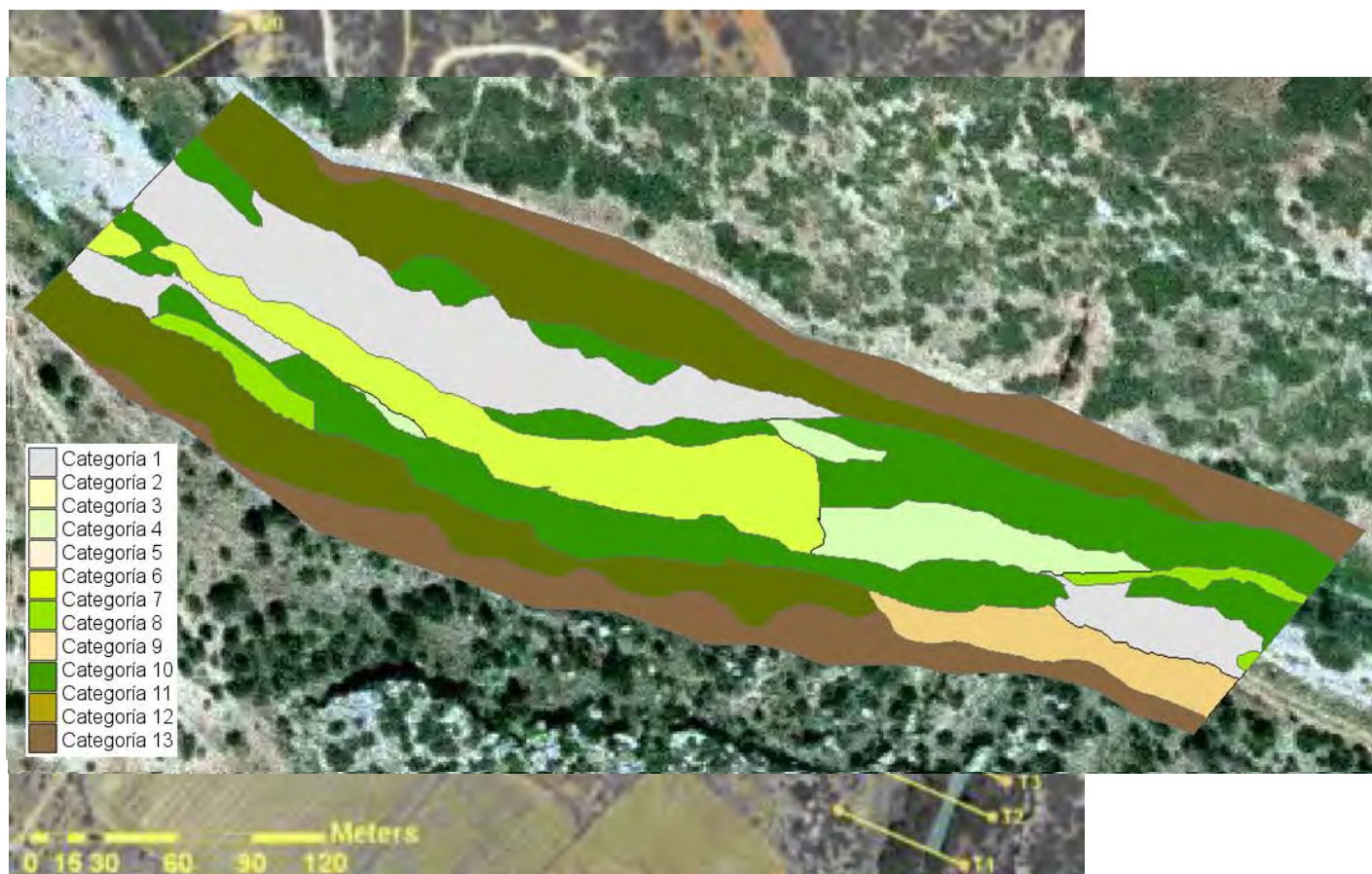
5. Modelos de
referencia

6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Mapas de Vegetación



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Clasificaciones vegetales

- Diversidad especies → **funciones y estructuras**
- **Tipos funcionales de vegetación**
 - Especies sin parentesco filogenético con **papel similar en los procesos** del ecosistema
 - **Respuesta similar a múltiples factores ambientales**
- **Fases de sucesión vegetal**
 - **Estadios tempranos - estadios maduros - climax**
 - Perturbaciones hidrológicas → modifican la estructura riparia (**reinicio de sucesión**)

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

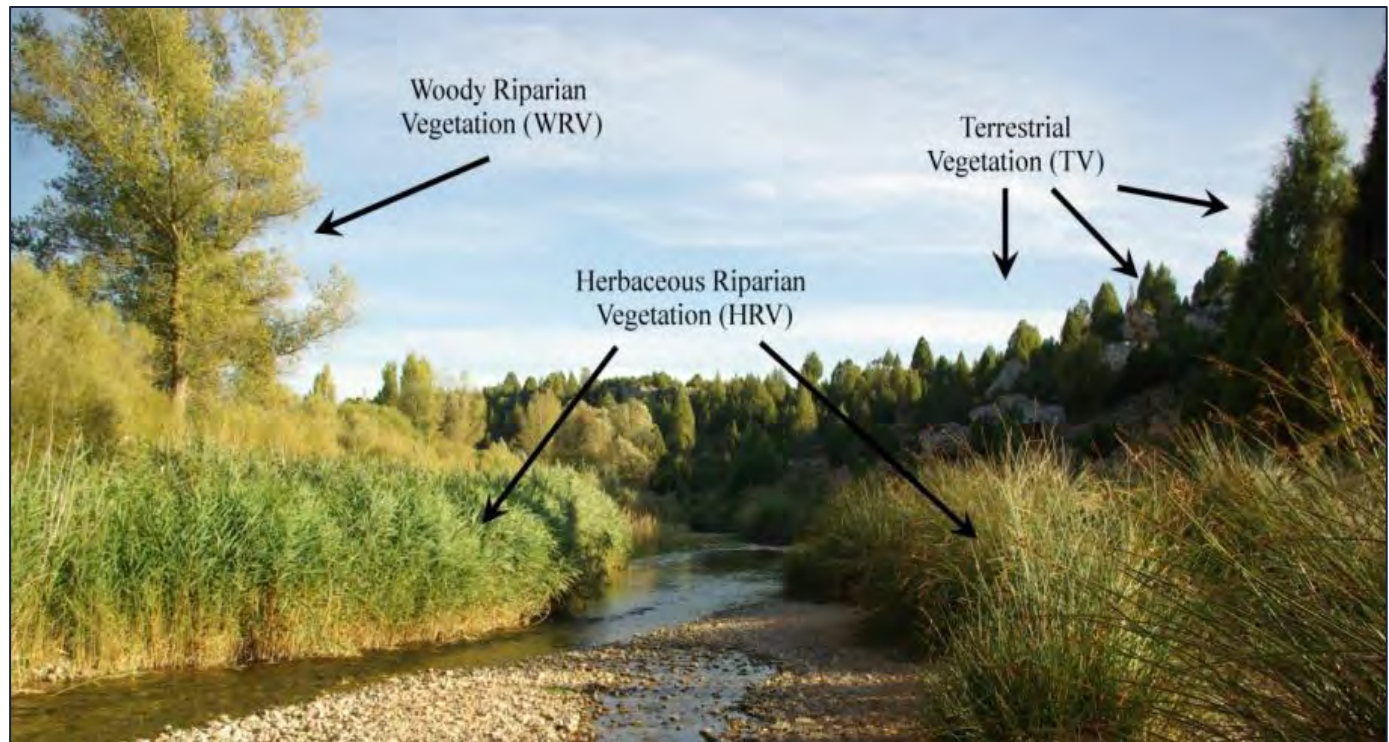
6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

RibAV → Tipos funcionales

- Vegetación **riparia herbácea** (HRV) y **leñosa** (WRV)
- Vegetación **terrestre** (TV)



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

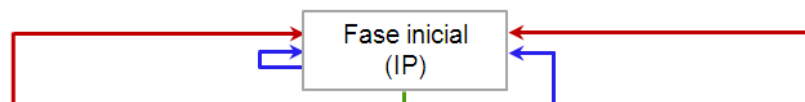
7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

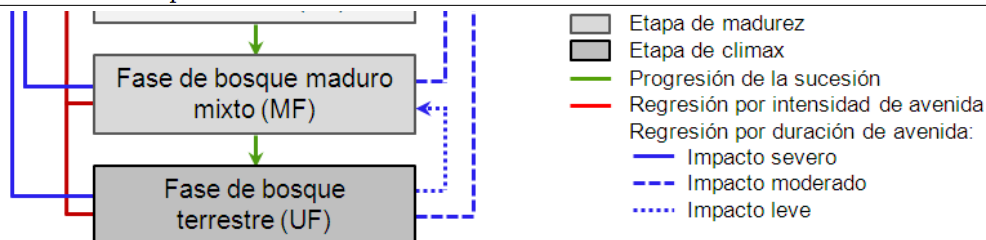
CASiMiR-vegetation → Fases de sucesión

SERIE BOSCOSA

SERIE DE CARRIZAL



<i>Etapas</i>	<i>Fase de sucesión</i>	<i>Edad mínima</i>	<i>Edad máxima</i>
Etapas de colonización	Fase inicial	0	0
	Fase pionera	1	1
Etapas de transición	Fase herbácea de la serie de carrizal	2	3
	Fase arbustiva de la serie de carrizal	4	10
	Fase herbácea de la serie boscosa	2	4
	Fase arbustiva de la serie boscosa	5	10
	Fase de sucesión temprana de la serie boscosa	11	15
	Fase de bosque establecido de la serie boscosa	16	20
Etapas de madurez-clímax	Fase de bosque maduro mixto de la serie boscosa	21	44
	Fase de bosque terrestre	45	—



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

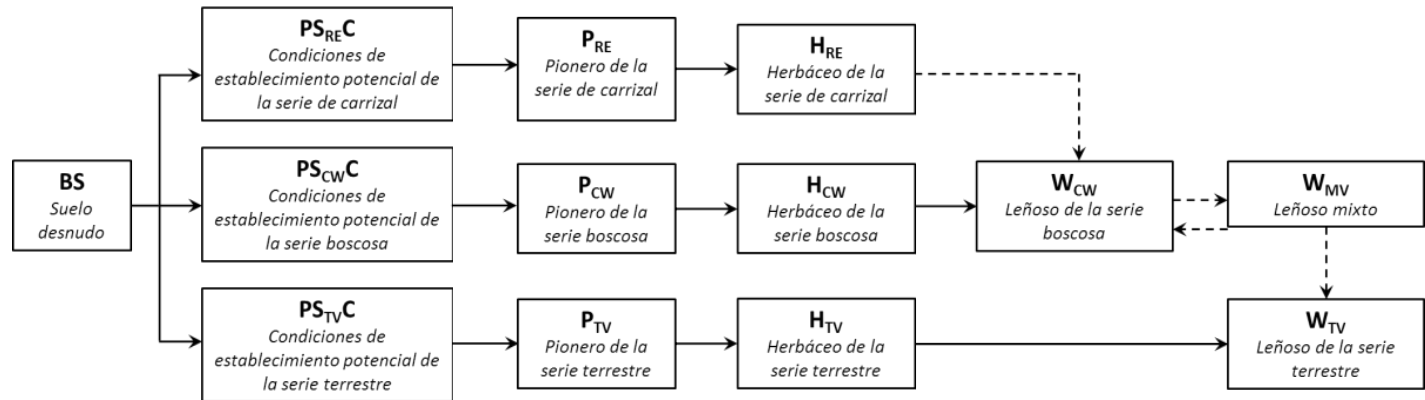
7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Nuevo enfoque:

Tipos funcionales de sucesión vegetal (SPFTs)

- 2 series riparias: **carrizal** (RE) y **boscosa** (CW)
- 1 serie **terrestre** (TV)





Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Criterios comunes para todos los modelos

- Tramo: **Terde** del Río Mijares (230 m de longitud)
- Resolución espacial: **1 metro**
- Periodos de tiempo entre:
 - **1 de Julio de 2000**
 - **31 de Agosto de 2006**
 - **31 de Diciembre de 2009**
- Metodología de evaluación:
 - Comparación **celda a celda** con **mapas objetivo**
 - **Índices** (funciones objetivo)
- Reclasificaciones vegetales:
 - **Fases, Líneas y RI-TV-MIX**

Cal/Val: **2000-2006**

Val: **2006-2009**

Val: **2000-2009**

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Índices utilizados como funciones objetivo

$$CCI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_{ii}$$

$$k = \frac{f_0 - f_e}{1 - f_e}$$

$$k^* = \frac{f_0(w) - f_e(w)}{1 - f_e(w)}$$

OBSERVADO	SIMULADO			
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
	TIPO 1	4	0	0
	TIPO 2	0	2	1
	TIPO 3	1	1	3

Sensibilidad = $VP / (VP + FN)$

Especificidad = $VN / (VN + FP)$

Tasa omisión = $FN / (VN + FN)$

Tasa comisión = $FP / (VP + FP)$

Exactitud = $(VP + VN) / N$

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

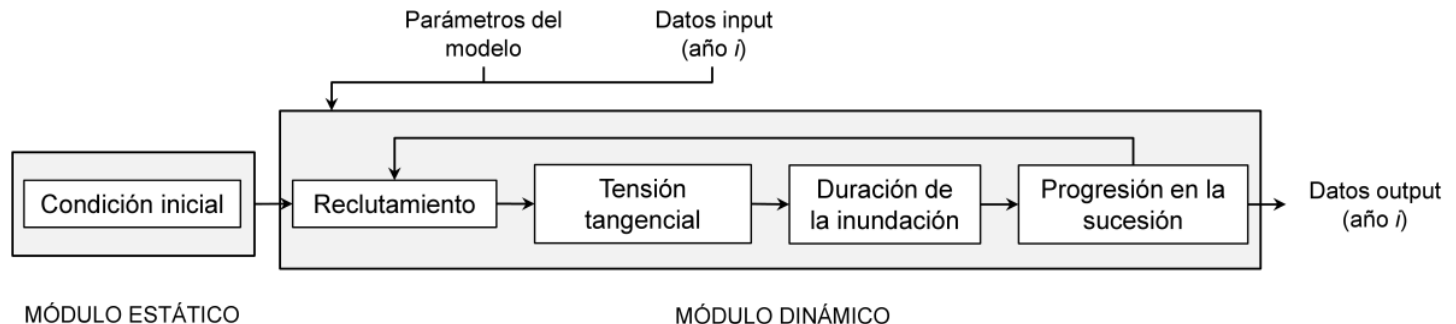
6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Modelo CASiMiR-vegetation (Benjankar *et al.*, 2011)

- Paso de tiempo **anual**
- Variable de estado: **Fases de sucesión**
- Modelo **dinámico** (módulo estático de condición inicial)
- Procesos físicos son representados mediante:
 - **Elevación sobre el nivel freático**
 - **Tensión tangencial** (perturbaciones hidrológicas)



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDm

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Parámetros de calibración

- Elevación sobre el nivel freático crítica para el reclutamiento (**HBWL**)
- Tensión tangencial crítica (**τ_c**)

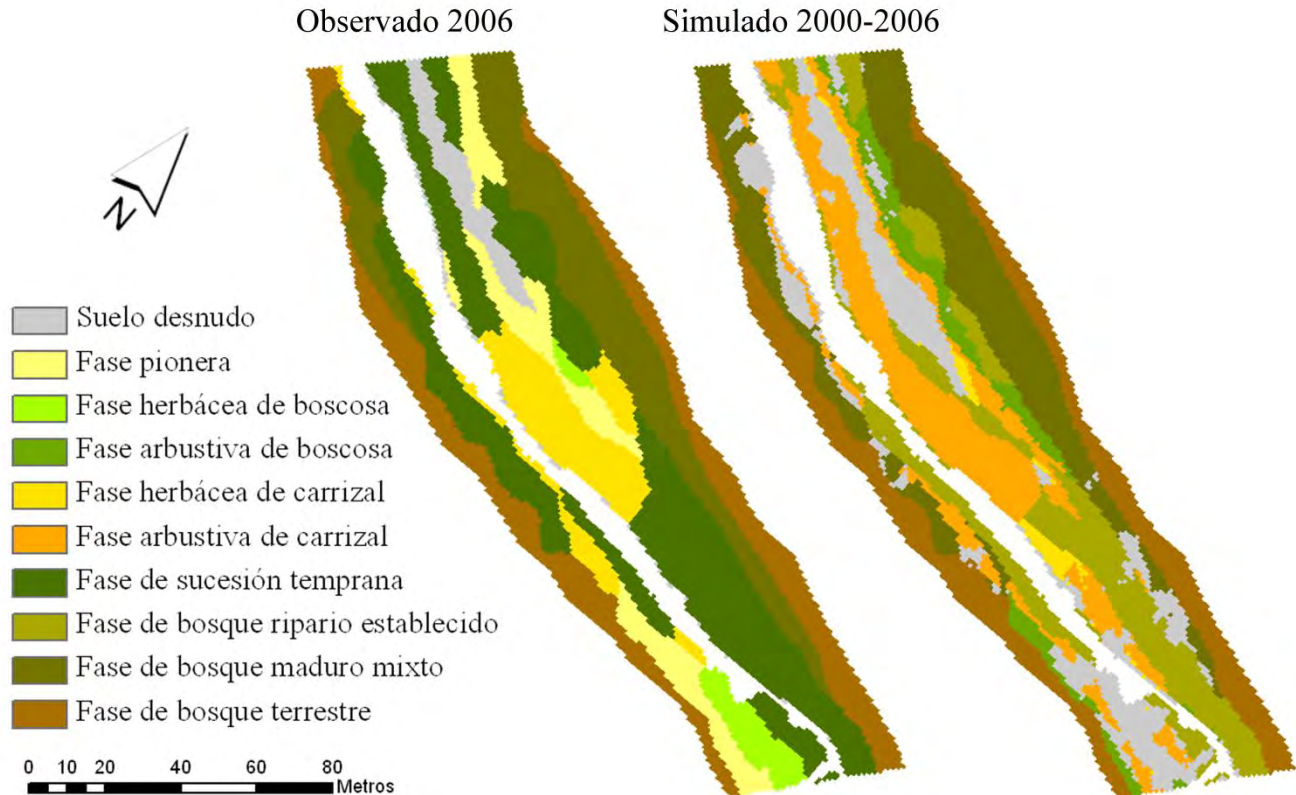
<i>Parámetro</i>	<i>Tramo Terde (Río Mijares)</i>
HBWL _c para el reclutamiento de la serie de carrizal en la zona de banco (m)	> 0.47
HBWL _c para el reclutamiento de la serie de carrizal en la zona de llanura de inundación (m)	< 1.2
HBWL _c para el reclutamiento de la serie boscosa en la zona de llanura de inundación (m)	> 1.2
HBWL _c para la zona de perturbaciones por socavación	< 0.75
τ_c para las fases de la etapa de colonización (N/m ²)	10 (IP) 60 (PP)
τ_c para las fases propias de la serie boscosa (N/m ²)	70 (HP) 90 (SP) 140 (ES) 200 (EF) 65 (MF) 300 (UF)
τ_c para las fases propias de la serie de carrizal (N/m ²)	150 (HP*) 150 (SP*)

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados

➤ $CCI_{00-06} = 0.378$, $k_{00-06} = 0.321$

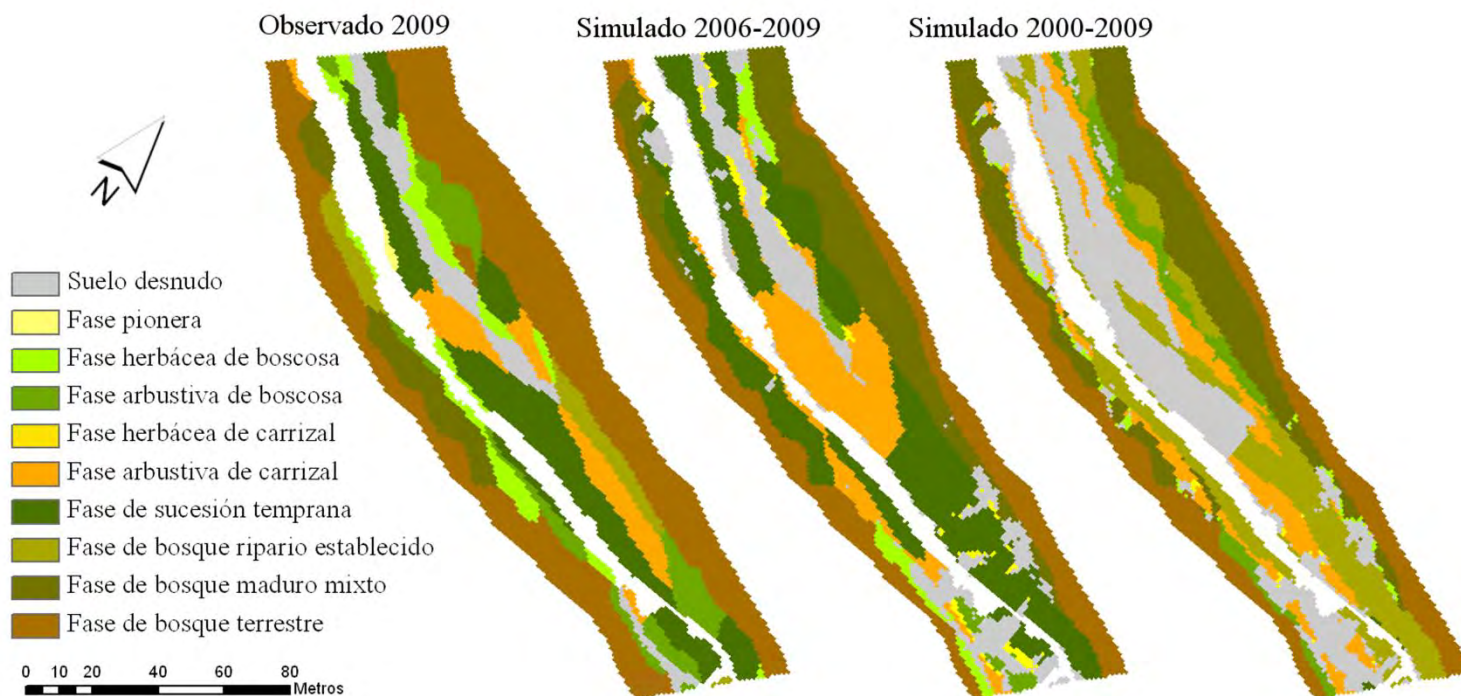


Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDm
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados

- $CCI_{06-09} = 0.383$, $k_{06-09} = 0.257$
- $CCI_{00-09} = 0.287$, $k_{00-09} = 0.182$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDm

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Modelo RibAV (Morales, 2010)

- Modelo **estático**
- Paso de tiempo **diario**
- Variable de estado: **tipo funcional de vegetación**
- Procesos físicos son representados mediante:
 - **Disponibilidad de agua**
 - **Capacidad de la planta para evapotranspirar**
- Simula todos los tipos funcionales de vegetación posibles y decide mediante **comparación del ET_{idx}**

$$ET_{idx} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{ET(t)}{C_v \cdot ET_0(t)}$$

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

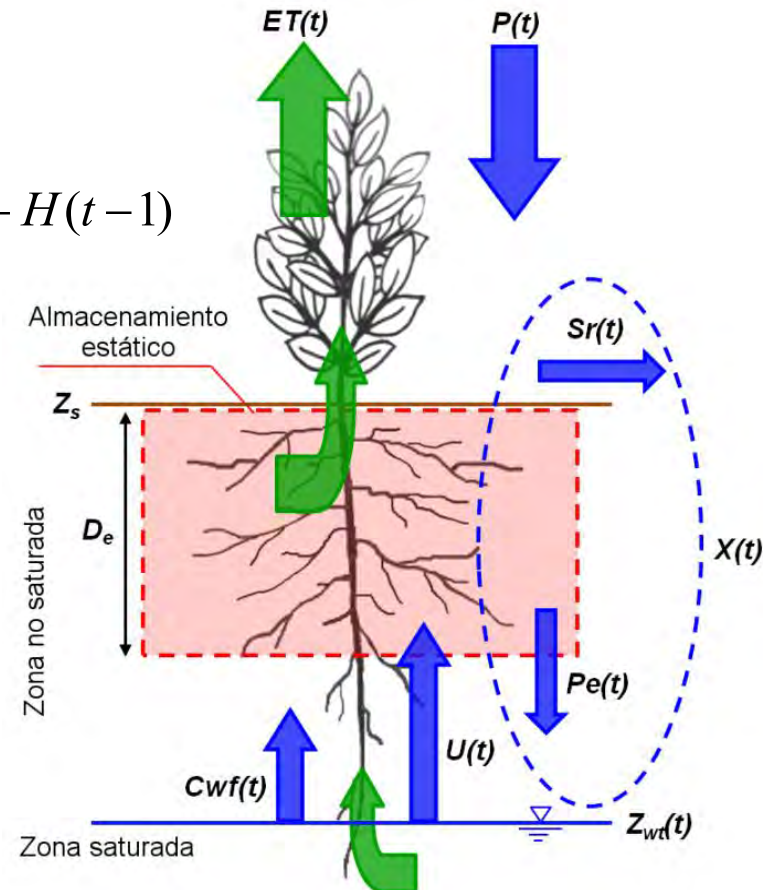
Balance hídrico conceptual

- Almacenamiento capilar
- Flujos principales de agua

$$X(t) = P(t) + U(t) + Cwf(t) - H_{fc} + H(t-1)$$

- Flujos entre la parte superior no saturada y la zona saturada:

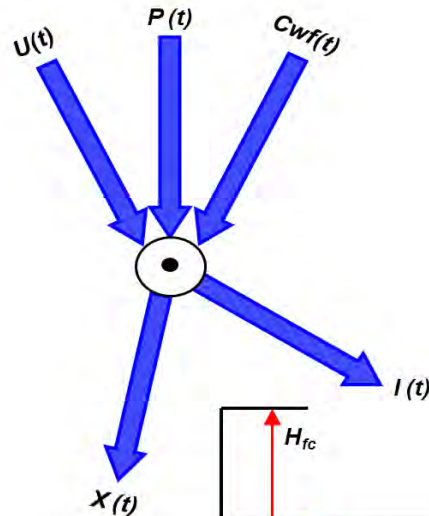
- Flujo vertical no saturado
- Ascenso hidráulico radicular



Índice

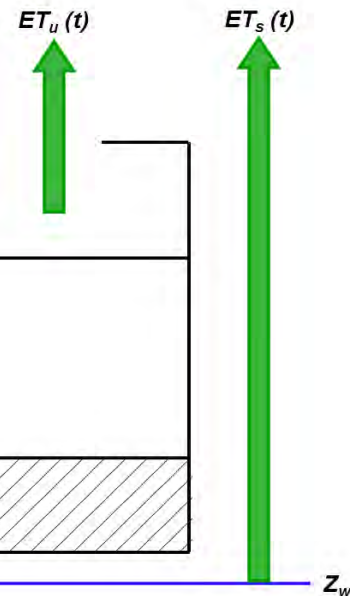
1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Almacenamiento capilar



$$H(t) = \text{Max} \left| \begin{array}{l} I(t) + H(t-1) - ET_u(t) \\ H_{wp} \end{array} \right.$$

$$I(t) = P(t) + U(t) + Cwf(t) - X(t)$$



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDm
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

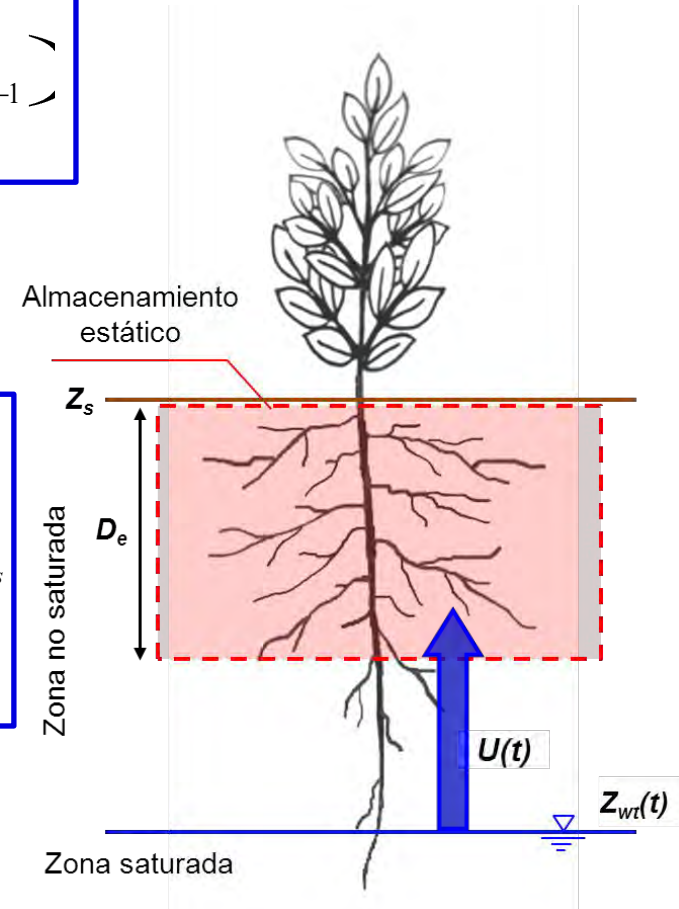
Elevación del nivel freático

$$Z_{wt}(t) = Z_{wt,j-1} + \left(\frac{Q(t) - Q_{j-1}}{Q_j - Q_{j-1}} \right) \cdot (Z_{wt,j} - Z_{wt,j-1})$$

Ascenso hidráulico radicular

$$U(t) = \text{Max} \left[0, -Cr \cdot h_n \cdot (\psi_{fc} - \psi(t)) \right] \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{\psi(t)}{\psi_{50}} \right)^{3.22}} \cdot r_s$$

$$\psi(t) = \frac{\psi_b}{\left(\frac{H(t)}{D_e \cdot \phi} \right)^{1/\lambda}} \quad \text{Campbell (1974)}$$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

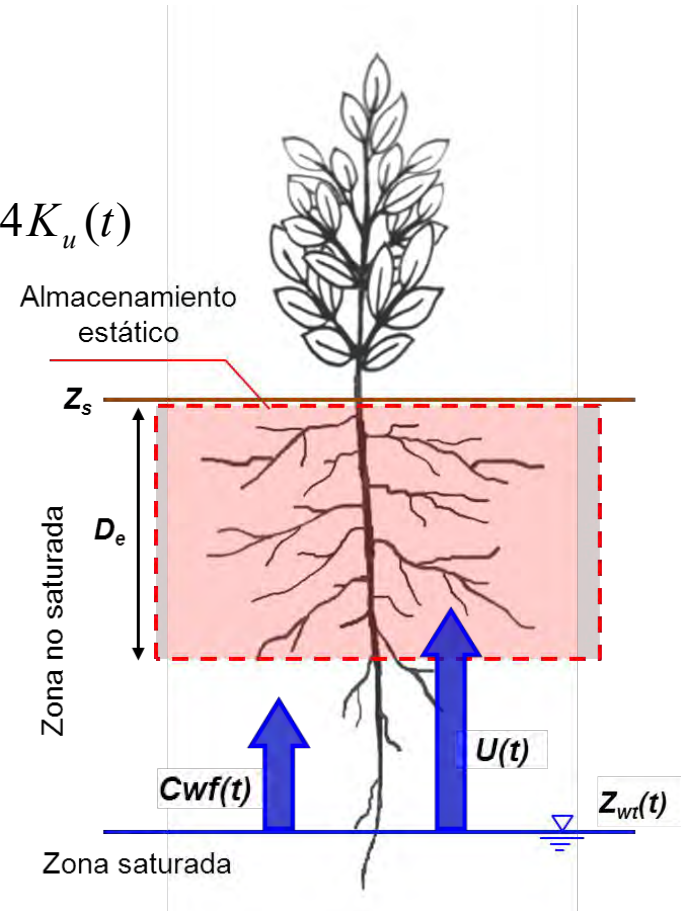
Flujo capilar ascendente

$$Cwf(t) = \begin{cases} 0 & Z_e > Z_{wt} \\ \min \left[\frac{H_{fc} - H(t-1) - U(t)}{\left(\frac{-0.102 \cdot \psi(t)}{Z_{wt}(t) - Z_e} \right) - 1} \cdot 24 K_u(t) \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$K_u(t) = K_s \cdot \left(\frac{\psi_b}{\psi(t)} \right)^{3\lambda+2} \quad \text{Campbell (1974)}$$

$$Z_{wt} \geq Z_e$$

$$Cwf(t) = H_{fc} - H(t-1) - U(t)$$



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

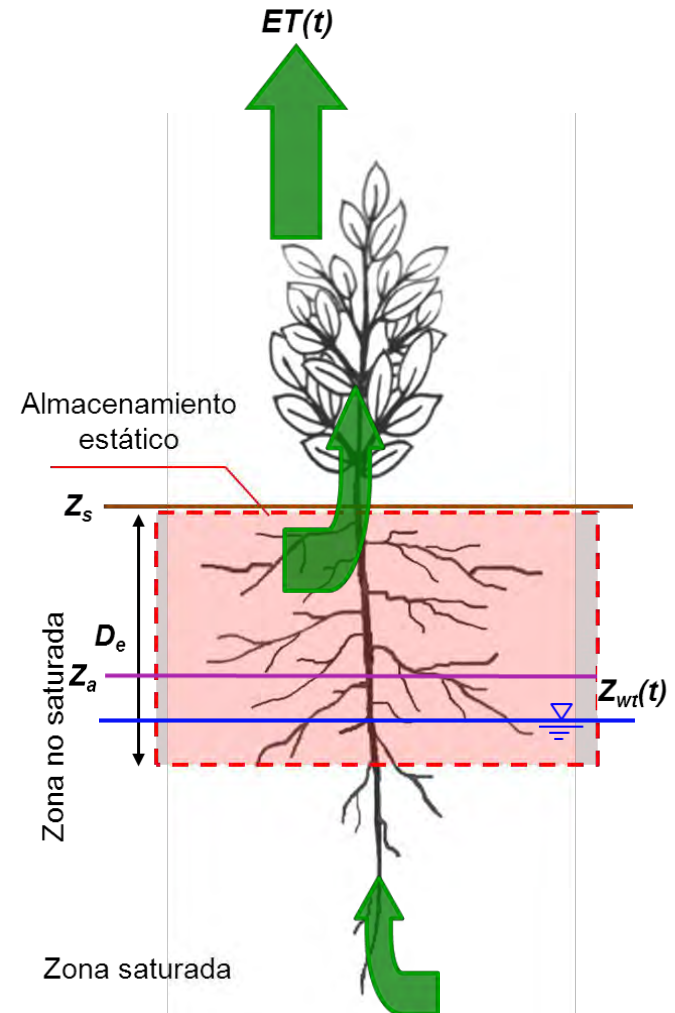
Evapotranspiración real

$$ET(t) = ET_u(t) + ET_s(t)$$

$$Z_a > Z_{wt} \geq Z_e$$

$$ET_u(t) = r_u \cdot C_v \cdot ET_0(t) \cdot \left(1 - \frac{Z_{wt} - Z_e}{Z_a - Z_e} \right)$$

$$ET_s(t) = \text{Min} \left| \begin{array}{l} C_v \cdot ET_0(t) - ET_u(t) \\ r_s \cdot C_v \cdot ET_0(t) \cdot \left(1 - \frac{Z_{wt} - Z_e}{Z_a - Z_e} \right) \end{array} \right|$$



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Evapotranspiración real

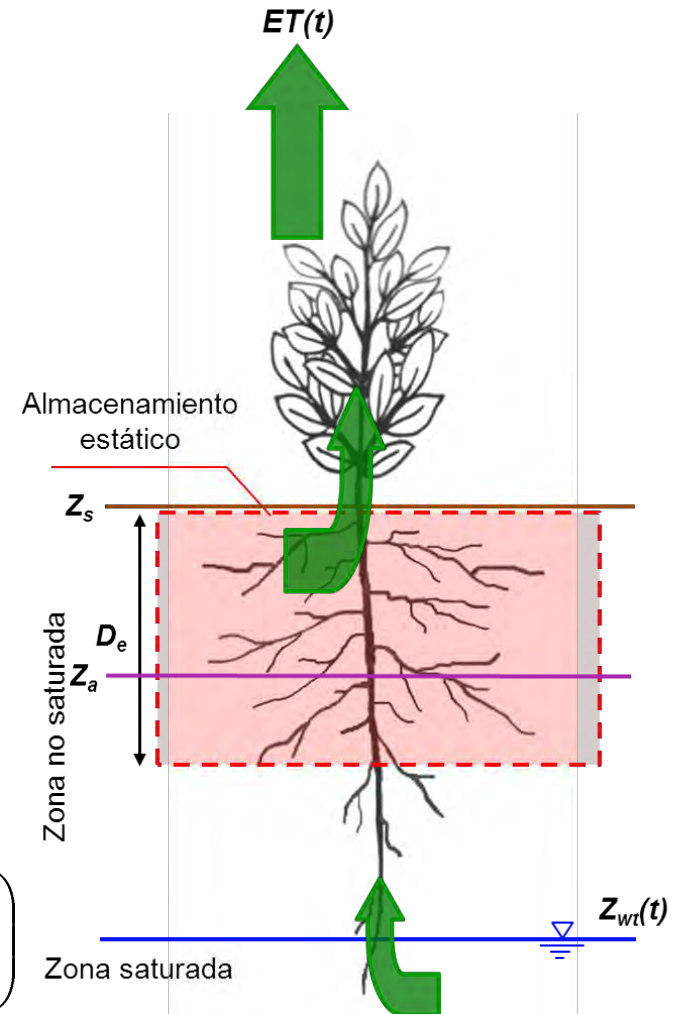
$$ET(t) = ET_u(t) + ET_s(t)$$

$$Z_e > Z_{wt} \geq Z_r$$

$$ET_u(t) = \min \left| \frac{H(t-1) - H_{wp}}{r_u \cdot Cv \cdot ET_0(t) \cdot H_{rel}(t)} \right|$$

$$H_{rel}(t) = \min \left| \frac{1}{\frac{H(t-1) - H_{wp}}{H^* - H_{wp}}} \right|$$

$$ET_s(t) = \min \left| \frac{Cv \cdot ET_0(t) - ET_u(t)}{r_s \cdot Cv \cdot ET_0(t) \cdot \left(\frac{Z_{wt}(t) - Z_r}{Z_e - Z_r} \right)} \right|$$



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
- 5. Modelos de referencia**
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Parámetros de vegetación calibrados

- Parámetros **más influyentes**:
 - Profundidades de raíces
 - Factores de transpiración

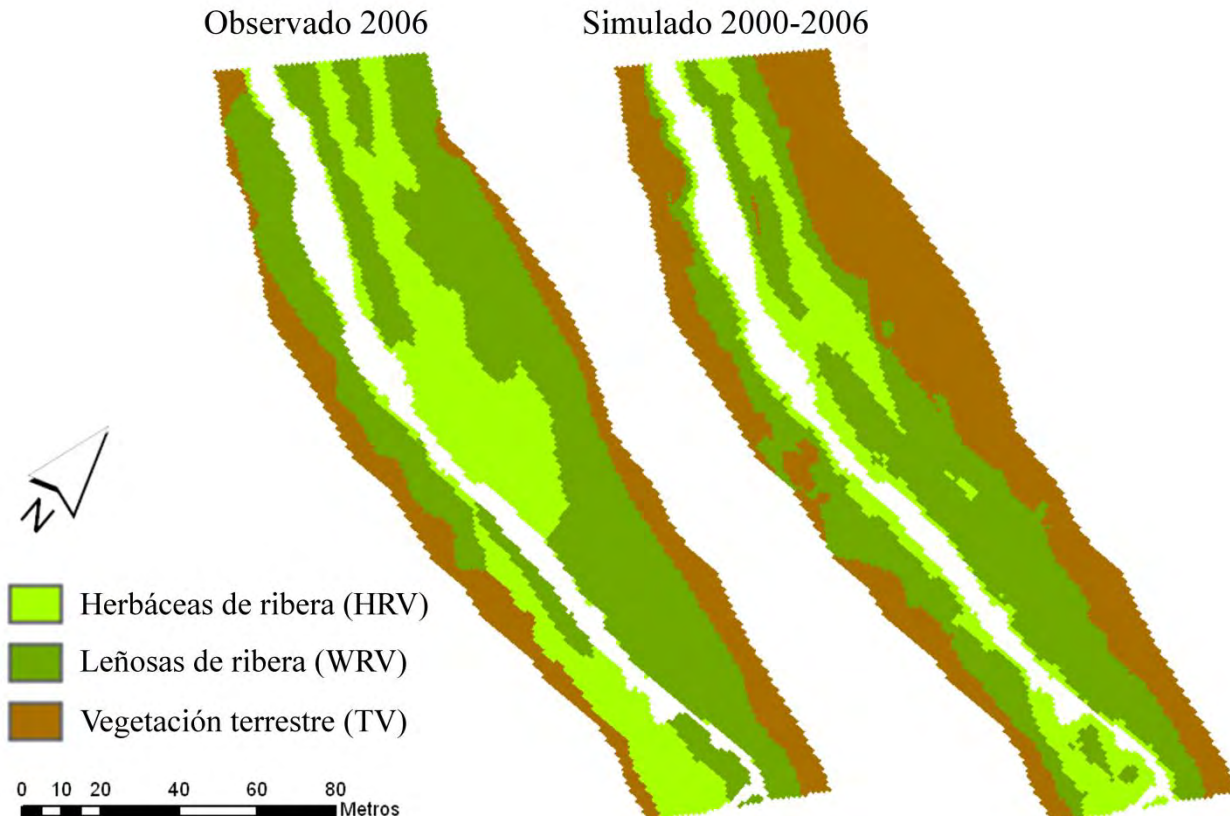
Tipos funcionales de vegetación	D_r	D_e	D_a	r_u	r_s
HRV	0.8	0.6	-0.7	0.5	0.6
WRV	3.2	0.8	-0.3	0.7	0.3
TV	1.9	1.6	1.59	1	0

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados

➤ $CCI_{00-06} = 0.541$, $k_{00-06} = 0.301$

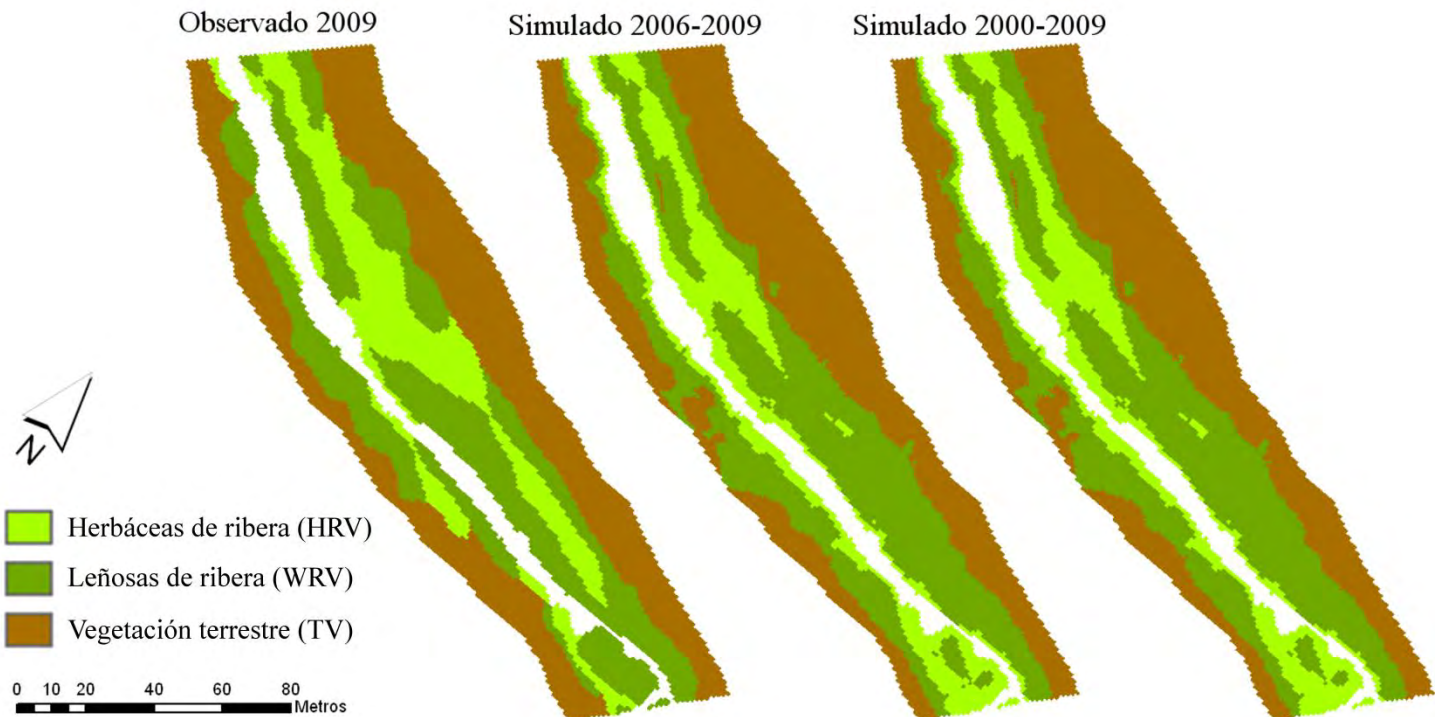


Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados

- $CCI_{06-09} = 0.701$, $k_{06-09} = 0.528$
- $CCI_{00-09} = 0.700$, $k_{00-09} = 0.527$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de
partida

4. Criterios
comunes de
implementación

5. Modelos de
referencia

6. El modelo
RVDM

7. Análisis de
escenarios de
cambio global

8. Conclusiones

Riparian Vegetation Dynamic Model (RVDM)

- Modelo **dinámico**
- Resolución temporal → **diaria**
- Distribuido en pequeñas celdas → **0.5 - 2 m**
- Variables de estado:
 - **SPFTs**
 - **Biomasa foliar**
- Implementación sencilla (**inputs tradicionales**)
- Estructura **modular** (impactos, evolución y competencia)

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

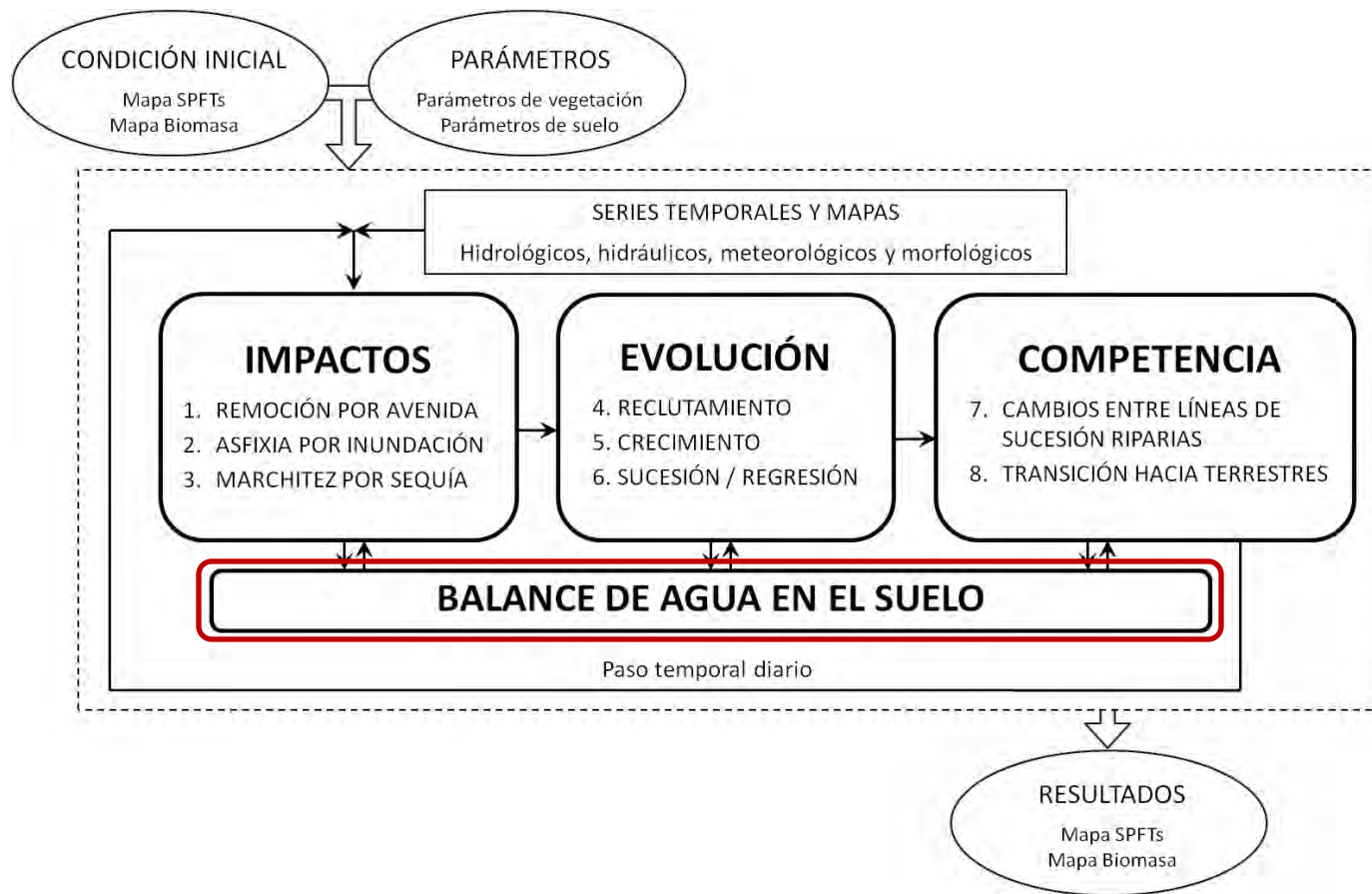
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Esquema general



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

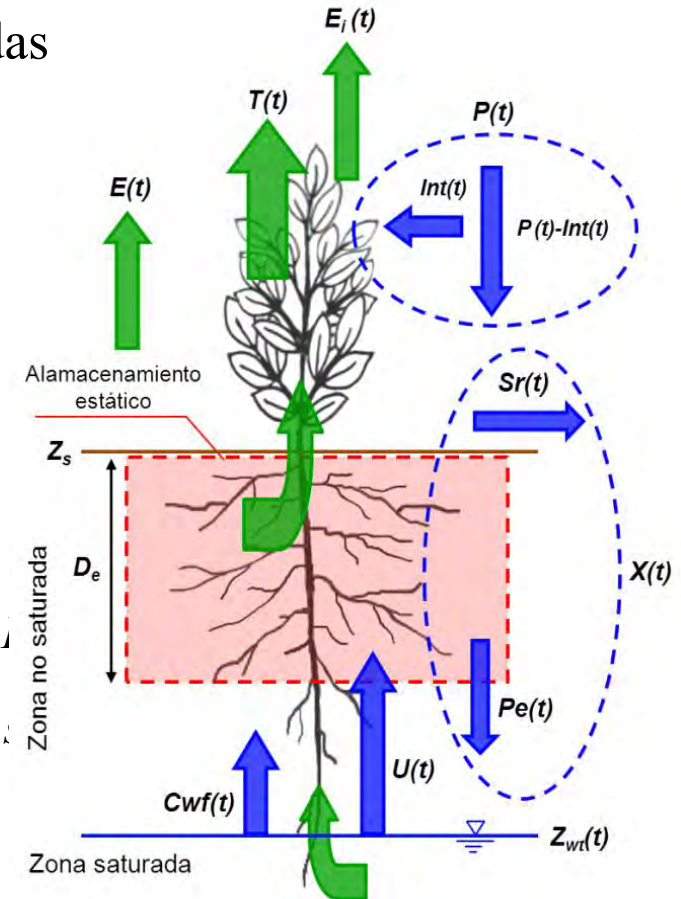
7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Módulo de balance de agua en el suelo

- Ecuaciones de RibAV modificadas
- $E_i(t) + T(t) + E(t) \leq ET_0(t)$
- $Int(t) = I_{SSC} C_v - (Int(t-1) - E_i(t-1))$
- $T(t) = T_u(t) + T_s(t)$
- $E(t) = [ET_0(t) - E_i(t)](1 - C_v) \beta(H)$

$$\beta(H) = \begin{cases} 1 & \text{si } I(t) + H(t-1) - T_u(t) - H_{wp} \\ \frac{I(t) + H(t-1) - T_u(t) - H_{wp}}{H^* - H_{wp}} & \\ 0 & \end{cases}$$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

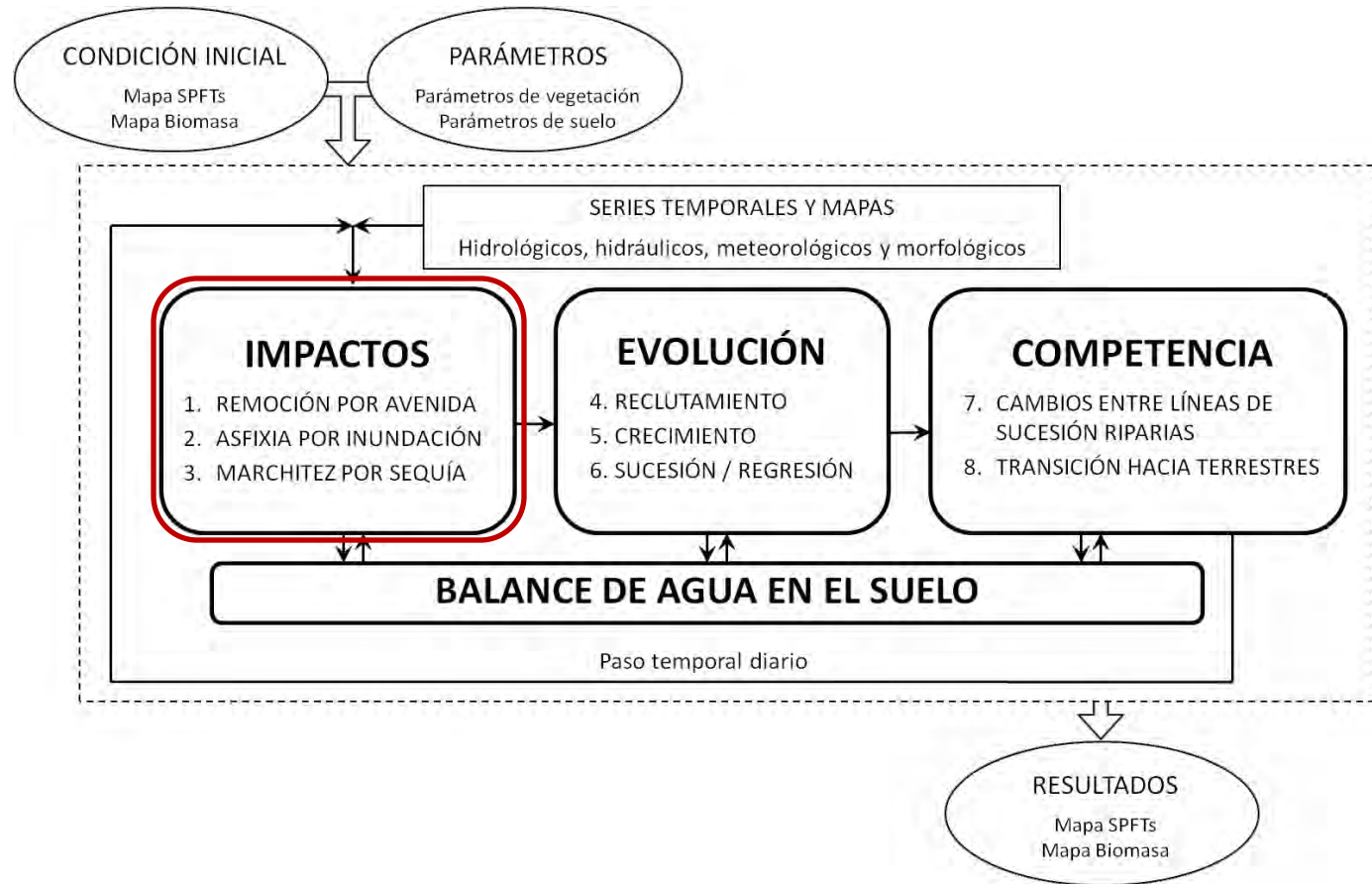
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Esquema general



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Módulo de impactos → Efectos de los extremos hidrológicos sobre la vegetación

- **Biomasa resistente** → $B(t) = B(t-1) \cdot \xi(t)$ (funciones lineales de pérdida de biomasa)
- **Parámetros:** valores **mínimos** y **críticos** de la variable de estrés (s) para definir el impacto



$$\xi(t) = -a s(t) + b$$

$$a = \frac{u_s - 1}{s_m - s_c}$$

$$b = 1 + a s_m$$

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Módulo de impactos → Efectos de los extremos hidrológicos sobre la vegetación

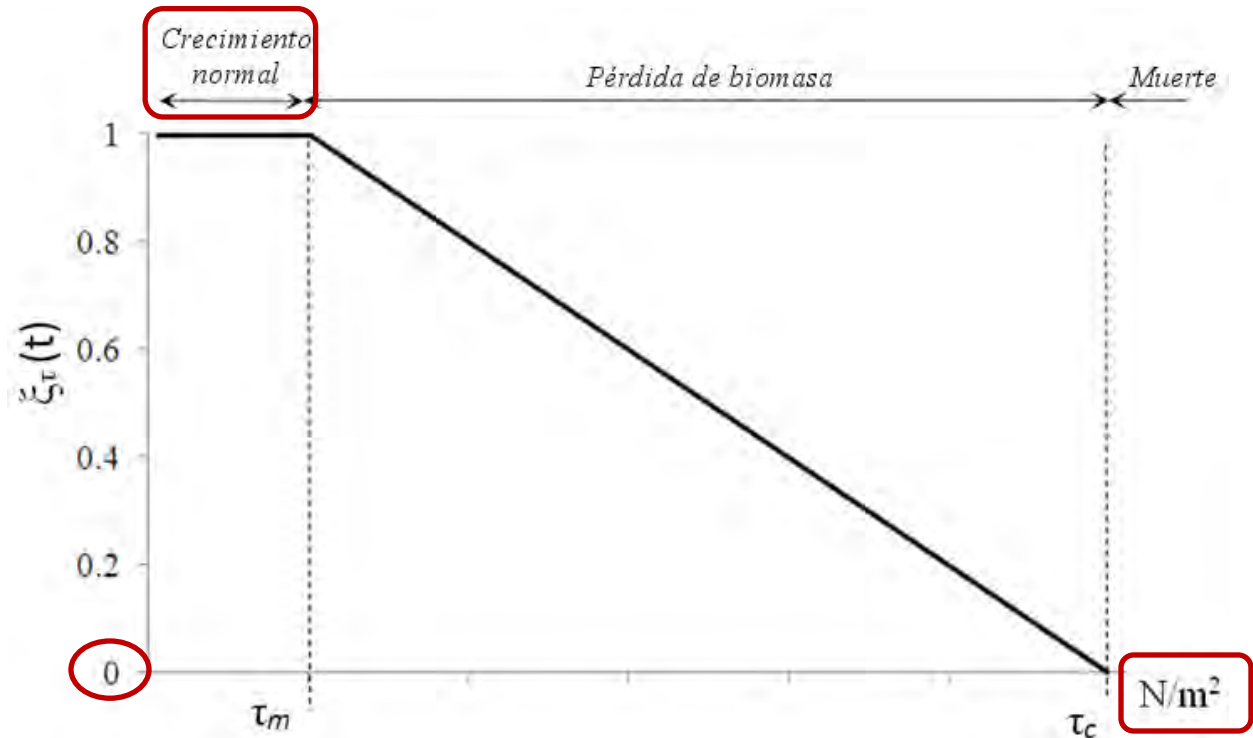
- **Biomasa resistente** → $B(t) = B(t-1) \cdot \xi(t)$ (funciones lineales de pérdida de biomasa)
- **Parámetros:** valores **mínimos** y **críticos** de la variable de estrés (s) para definir el impacto
- **Variable de estrés:**
 - Remoción por avenida → **tensión tangencial** (τ)
 - Asfixia por inundación → **elevación del nivel freático**
 - Marchitamiento por sequía → **disponibilidad hídrica**

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Remoción por avenida

➤ Tensión tangencial:
$$\tau(t) = \tau_{j-1} + \left(\frac{Q_i(t) - Q_{i,j-1}}{Q_{i,j} - Q_{i,j-1}} \right) \cdot (\tau_j - \tau_{j-1})$$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

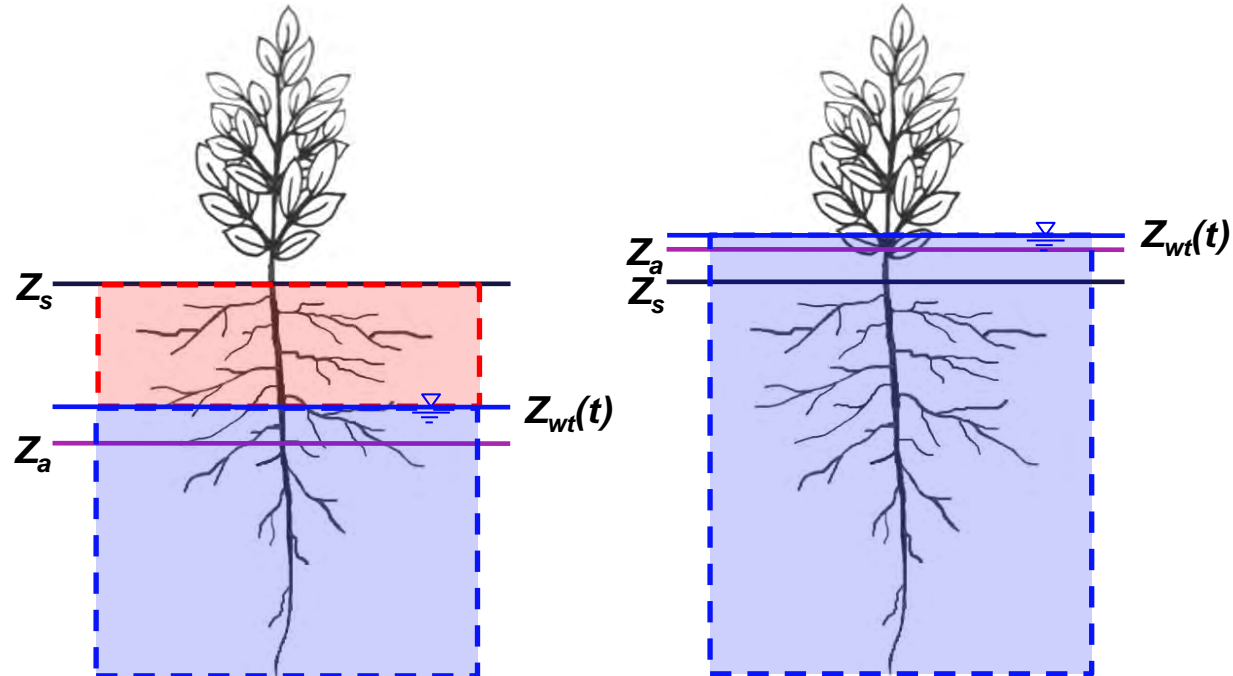
7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Asfixia por inundación

- Variable de estrés: número de días consecutivos que $Z_{wt} > Z_a$

- Elevación del NF
$$Z_{wt}(t) = Z_{wt\ j-1} + \left(\frac{Q(t) - Q_{j-1}}{Q_j - Q_{j-1}} \right) \cdot (Z_{wt\ j} - Z_{wt\ j-1})$$
- $T(t) = 0$

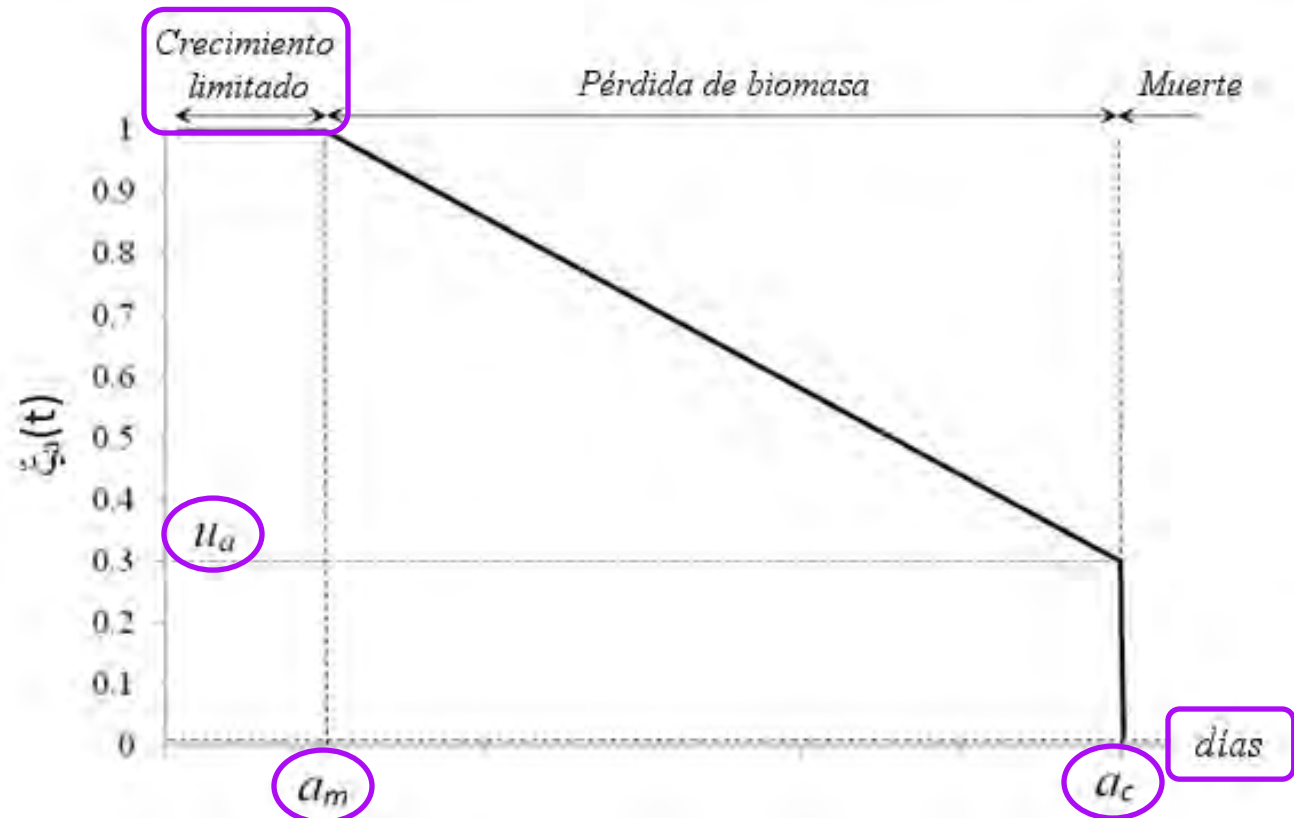


Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Asfixia por inundación

- Variable de estrés: número de días consecutivos que $T(t) = 0$

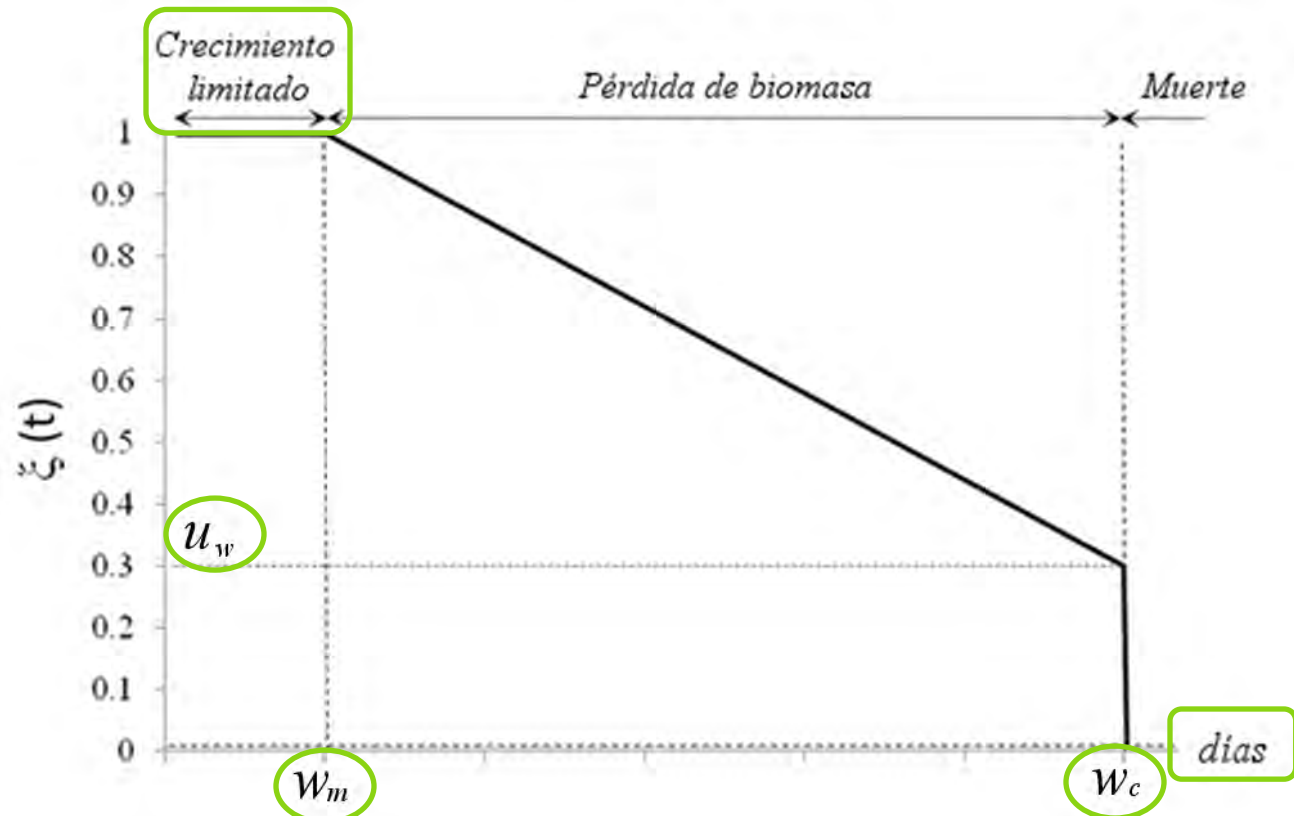


Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Marchitez por sequía

- Variable de estrés: número de días consecutivos que $T(t) = 0$



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

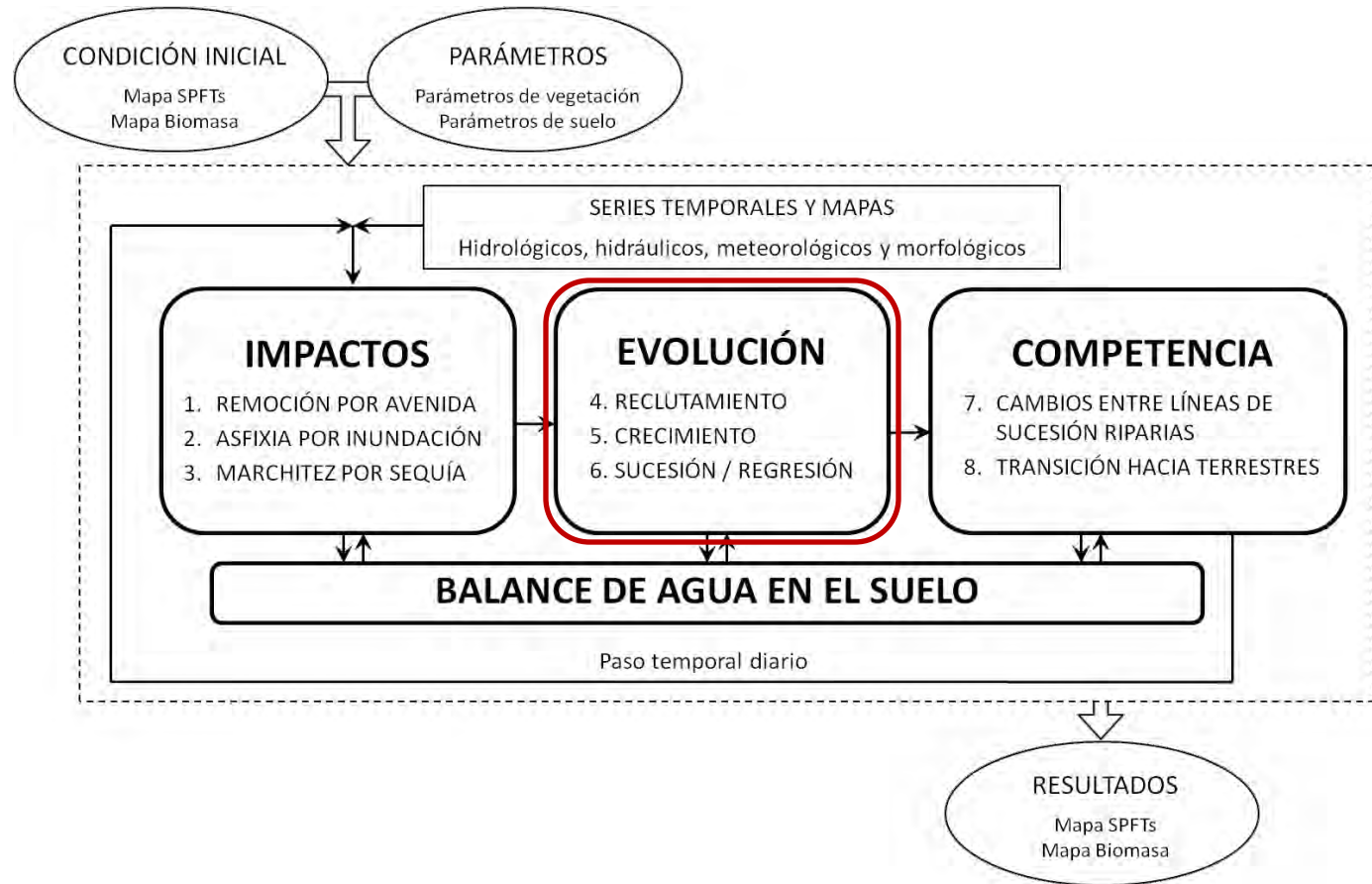
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Esquema general



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
- 6. El modelo RVDM**
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Reclutamiento

- **Presencia** de semillas viables: **BS** → **PSC**
 - f(estacionalidad, avenidas)
- **Germinación** de esas semillas: **PSC** → **P**
 - f(temperatura, oxígeno, humedad, luz)
- **Establecimiento** de los propágulos: **P** → **H**
 - f(transpiración, maduración)

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
- 6. El modelo RVDM**
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Crecimiento

$$\frac{dB}{dt} = [LUE \cdot APAR(t) \cdot ET_{idx}(t) - Re(t)] \cdot \varphi_{xl}(t-1) - k_a \cdot B(t-1)$$

$$APAR(t) = 0.95 \left(-e^{-l_e LAI(t-1)} \right) PAR(t) \quad LAI(t) = SLA B(t) cv$$

Componente logística

$$\varphi_l(t) = 1 - \frac{LAI(t)}{LAI_{max}}$$

Disponibilidad hídrica

$$ET_{idx}(t) = \frac{T(t)}{cv ET_0(t) - E_i(t)}$$

$$Re(t) = \left(\frac{rr B(t-1) 2.2}{29} \right) \cdot e^{308.56 \left[\left(\frac{1}{56.02} - \frac{1}{T_{med} + 46.02} \right) \right]}$$

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

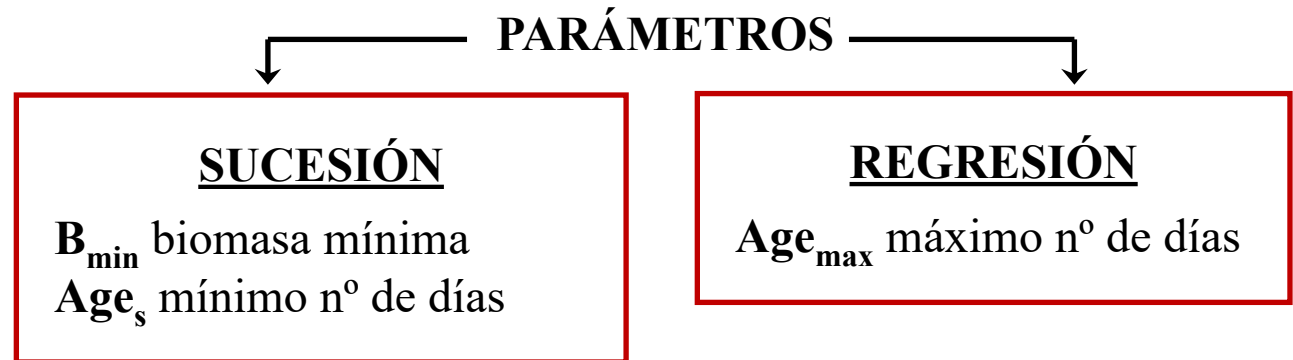
6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Sucesión - Regresión entre SPFTs

- Afecta a cada línea de sucesión **independientemente**
- Cada SPFT tiene asociado un **periodo vital** y una **B_{\min}**
- **Regresión a BS**: excedencia de Age_{\max} sin alcanzar B_{\min} del siguiente SPFT



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

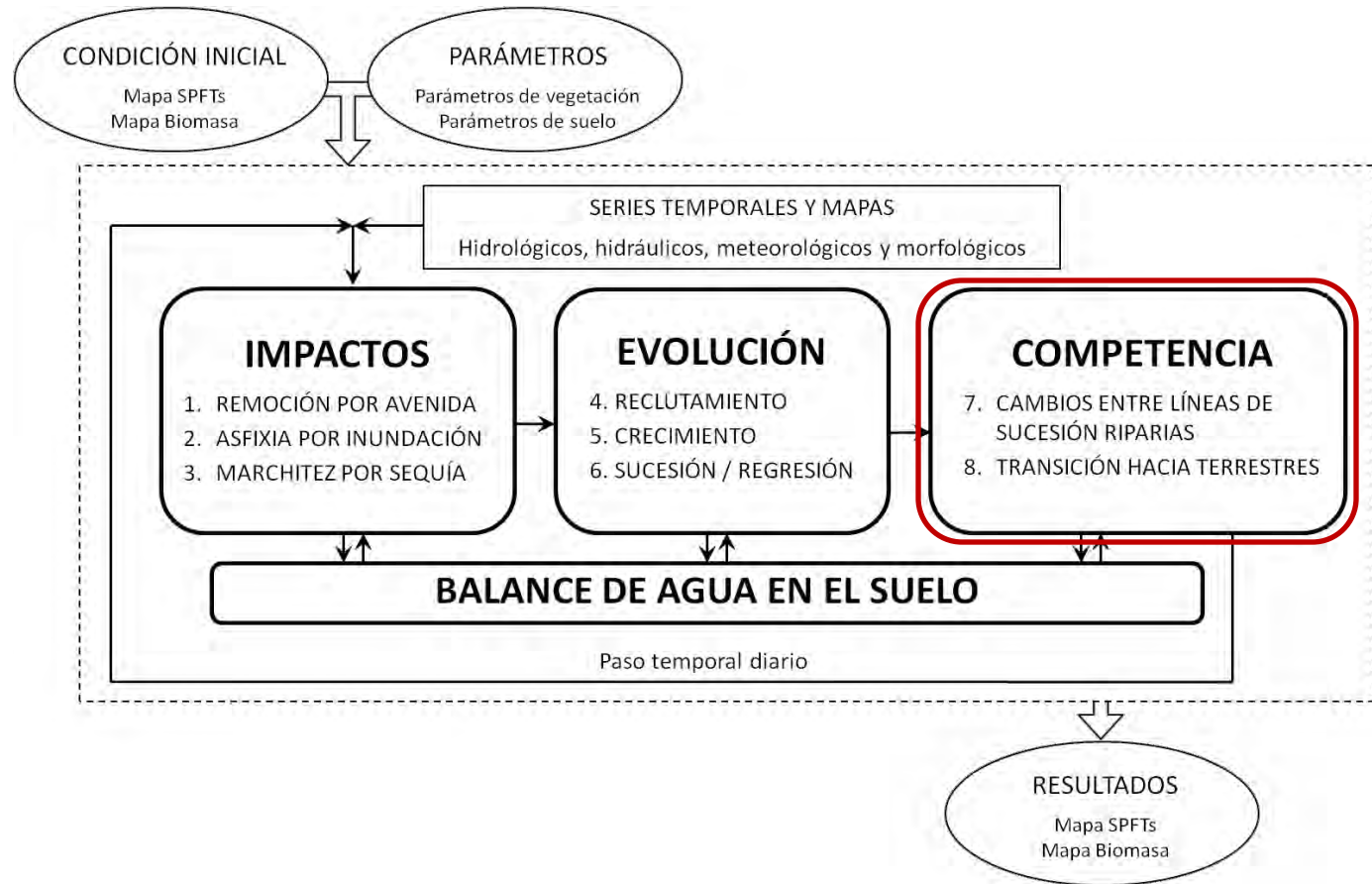
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Esquema general



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

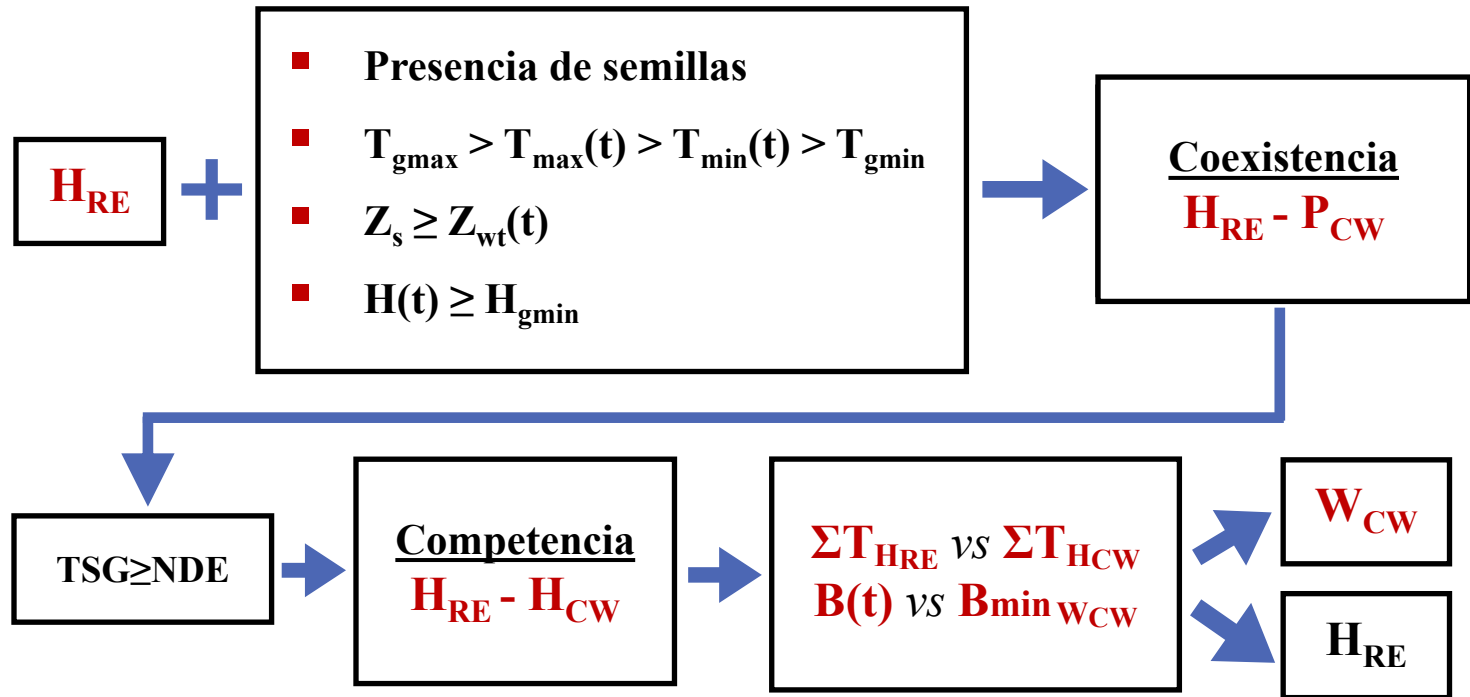
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Cambios entre líneas de sucesión riparias



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Transición hacia terrestres

- En celdas W_{CW} o W_{MV} :



- En celdas W_{MV} :



- No se analiza la competencia en celdas terrestres
 - ✓ Las **perturbaciones hidrológicas** mantienen la dinámica riparia

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
- 6. El modelo RVDM**
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Análisis de sensibilidad global

- **250.000 (+15.000) simulaciones Monte Carlo**
 - Distribución **uniforme**
- Sets de parámetros conductuales / no conductuales
 - Umbrales **CCI** y $k \approx 0.4$
- Test de **Kolmogorov–Smirnov** para \neq entre distribuciones de probabilidad acumulada

Rango efectivo e Importancia relativa
de cada parámetro

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

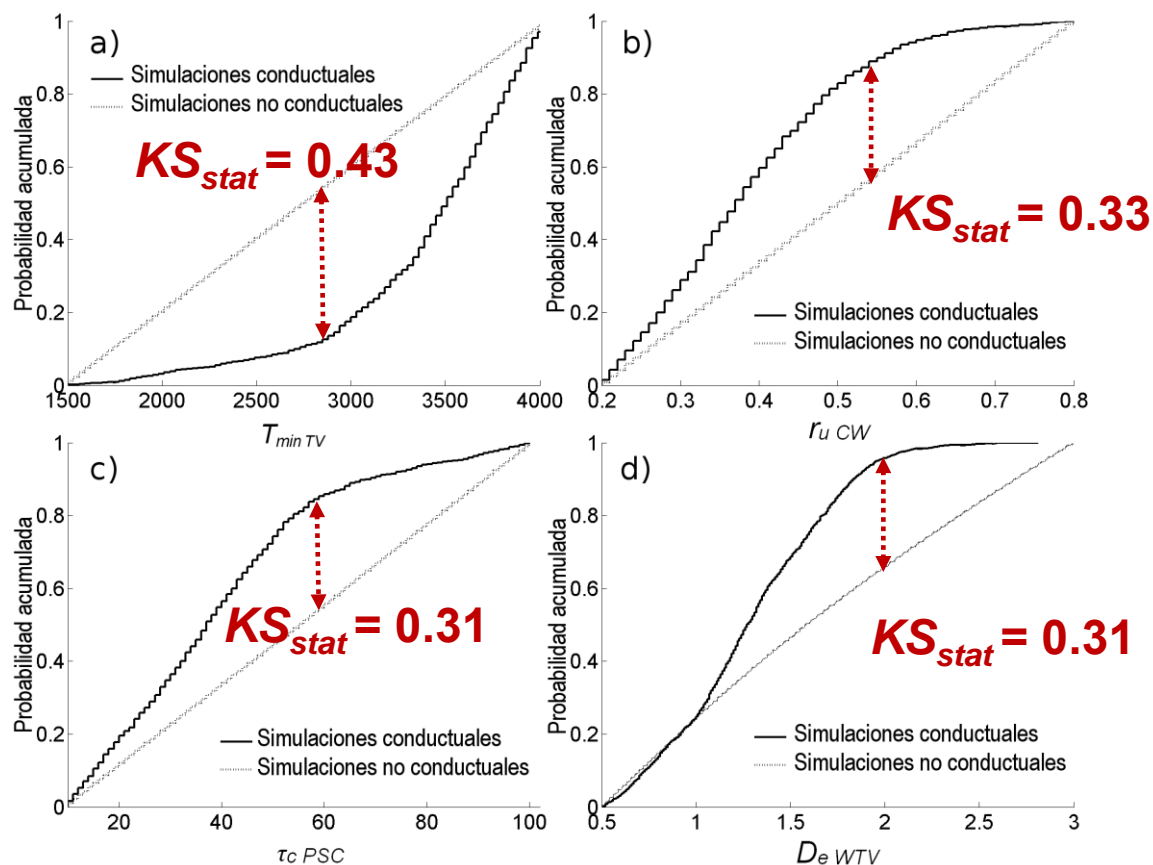
5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Análisis de sensibilidad global (Hornberger y Spear, 1980)



Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Parámetros más influyentes

- $T_{minTV} = 3600$ días
- $H_{gmin} = 13$ mm
- $D_{bse} = 0.31$ m

SPFT	P _{RE}	P _{CW}	P _{TV}	H _{RE}	H _{CW}	H _{TV}	W _{CW}	W _{MV}	W _{TV}
B_{min} (g)	-	-	-	250	2450	800	8500	-	6700
C_v ()	0.8	0.34	0.56	1	0.95	0.76	1	0.88	0.76
D_a (m)	0.04	0.03	0.05	-0.45	-0.09	0.04	-1.33	-0.3	0.74
D_e (m)	0.07	0.1	0.06	0.6	0.47	0.05	0.39	0.57	0.75
D_r (m)	0.11	0.12	0.11	0.61	1.56	0.11	7.96	6.09	4.22
r_s ()	0.97	0.72	0	0.97	0.72	0	0.72	0.36	0
r_u ()	0.14	0.26	1	0.14	0.26	1	0.26	0.63	1
τ_c (N m ⁻²)	107	138	71	220	250	75	441	441	258

Índice

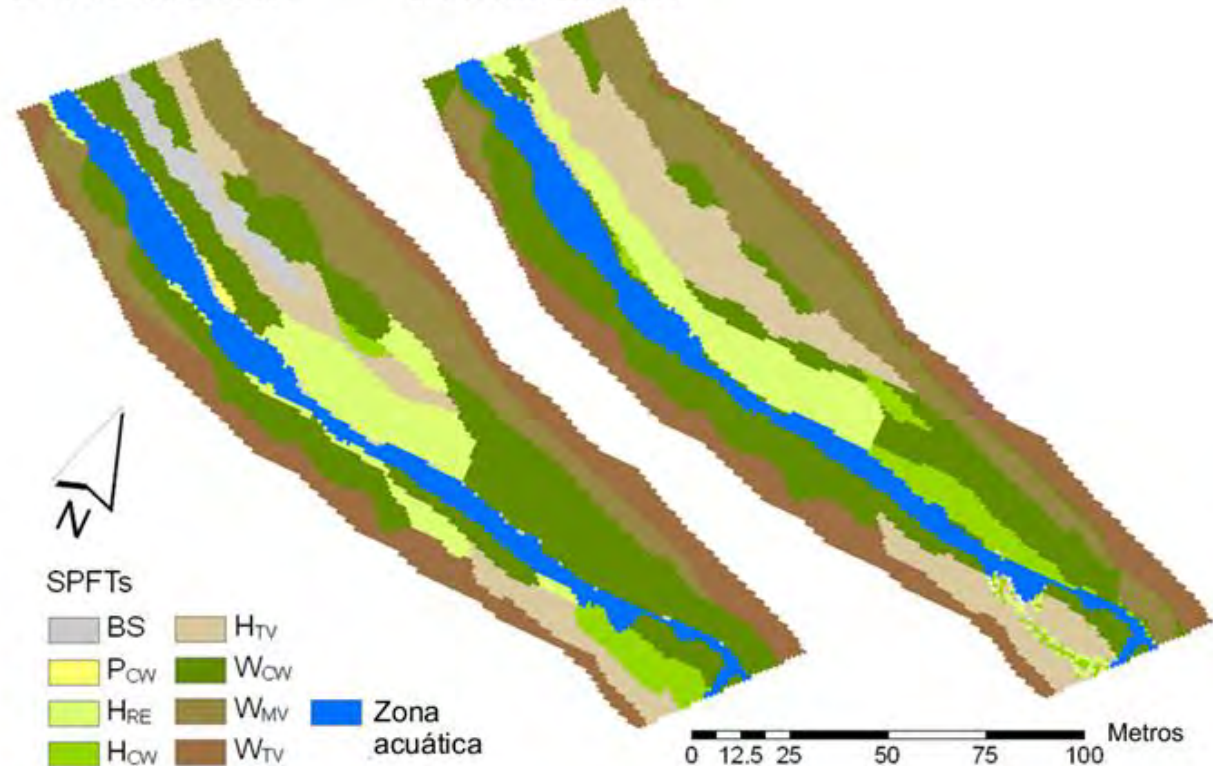
1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
- 6. El modelo RVDM**
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados: Calibración

➤ $CCI_{00-06} = 0.670, k_{00-06} = 0.589$

SPFTs observados 2006

SPFTs simulados 2006

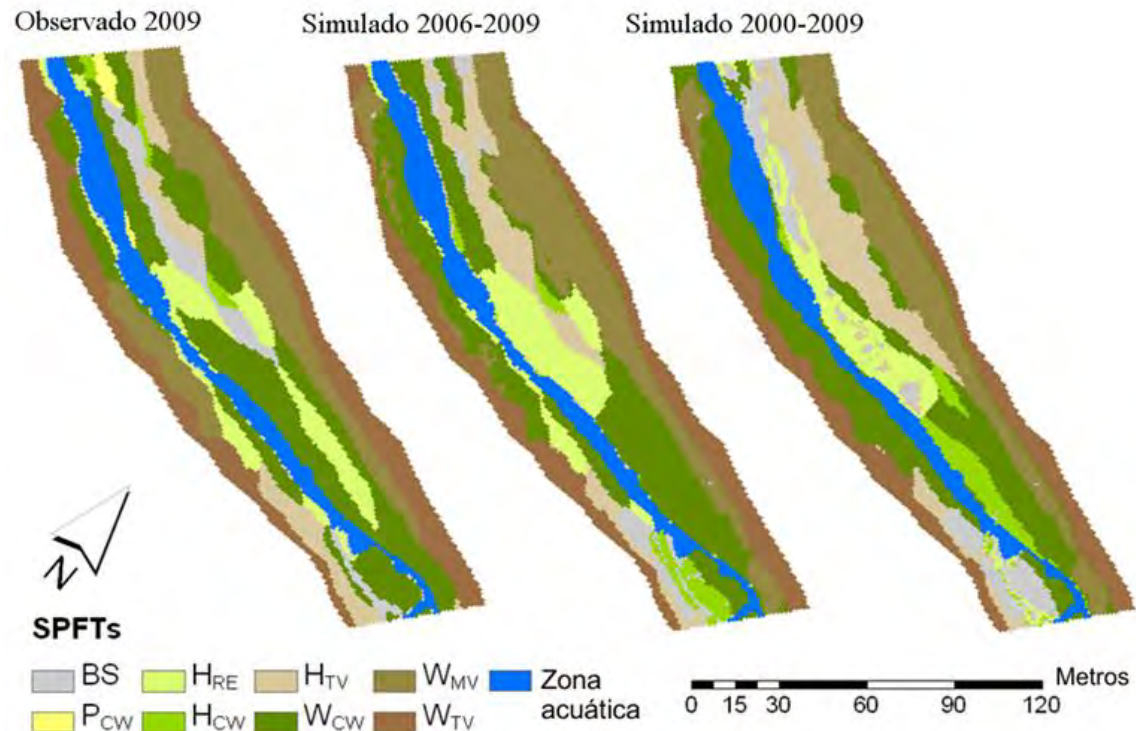


Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados: Validación

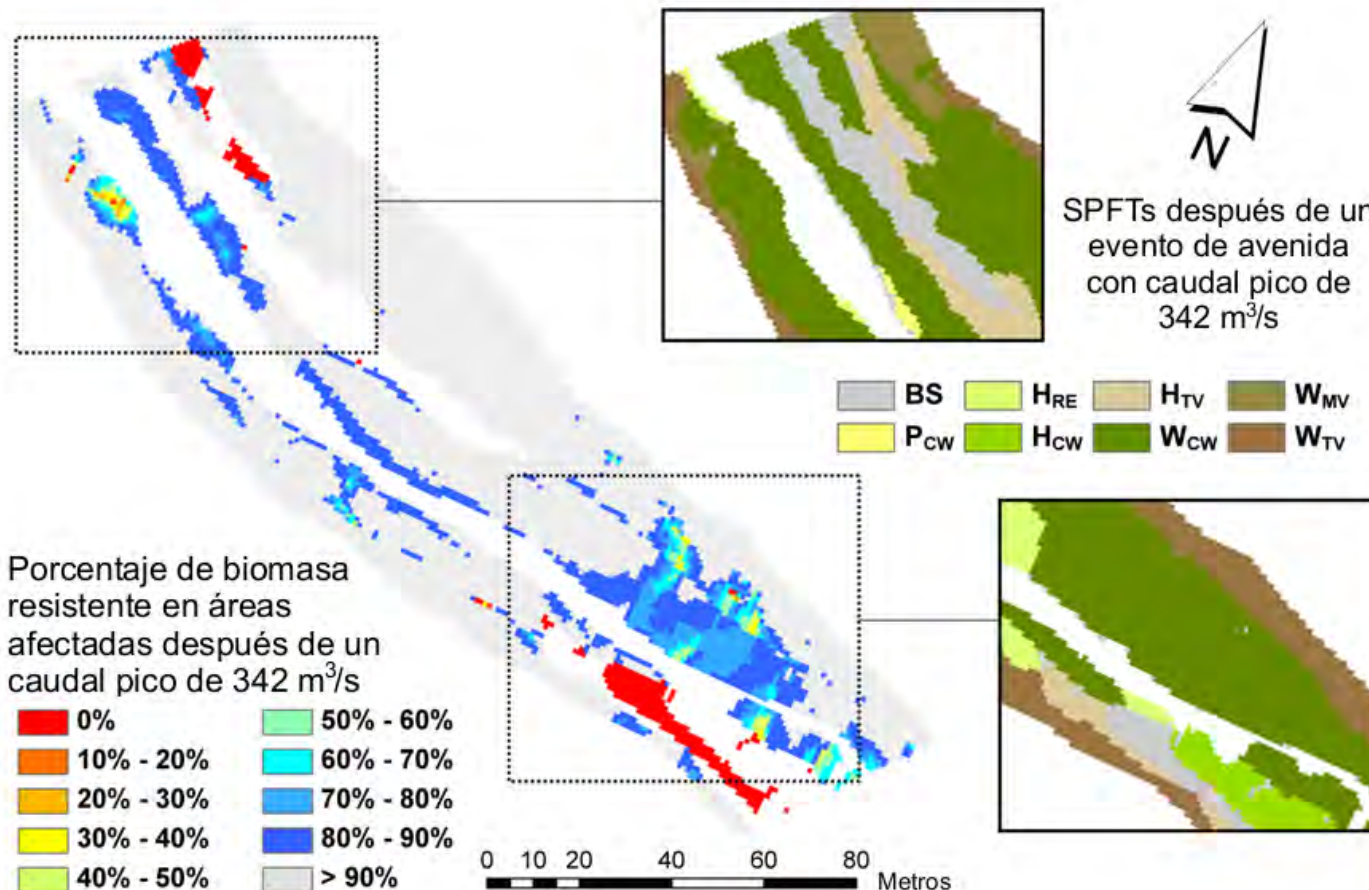
- $CCI_{06-09} = 0.639$, $k_{06-09} = 0.545$
- $CCI_{00-09} = 0.501$, $k_{00-09} = 0.383$



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
- 6. El modelo RVDM**
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Resultados





Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

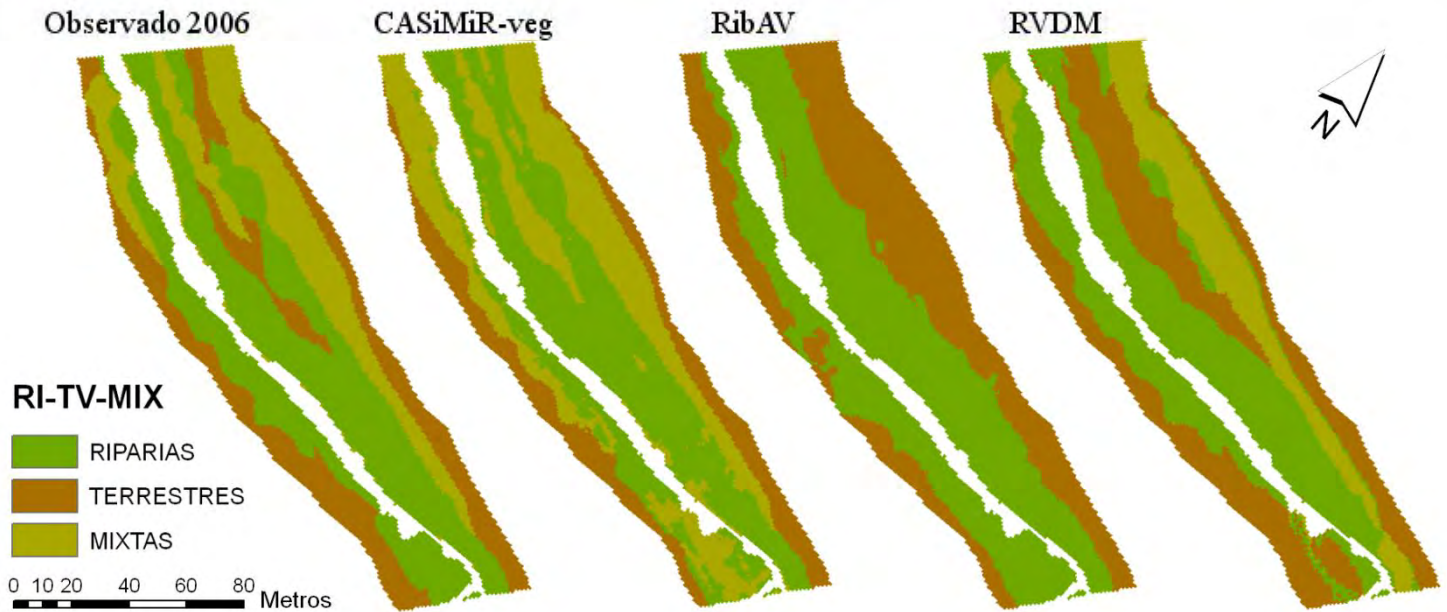
RVDM predice mejor y es más robusto

Periodo: 2000-2006				
Clasificación vegetal	F. O.	CASiMiR-veg	RibAV	RVDM
Modelo	<i>CCI</i>	0.378	0.541	0.670
	<i>k</i>	0.321	0.301	0.589
Fases	<i>CCI</i>	0.673	0.742	0.764
	<i>k</i>	0.356	0.297	0.479
Lineas	<i>CCI</i>	0.652	0.464	0.715
	<i>k</i>	0.502	0.248	0.601
RI-TV-MIX	<i>CCI</i>	0.764	0.622	0.795
	<i>k</i>	0.635	0.372	0.679

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
- 6. El modelo RVDM**
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Periodo: 2000-2006				
Clasificación vegetal	F. O.	CASiMiR-veg	RibAV	RVDM
RI-TV-MIX	<i>CCI</i>	0.764	0.622	0.795
	<i>k</i>	0.635	0.372	0.679

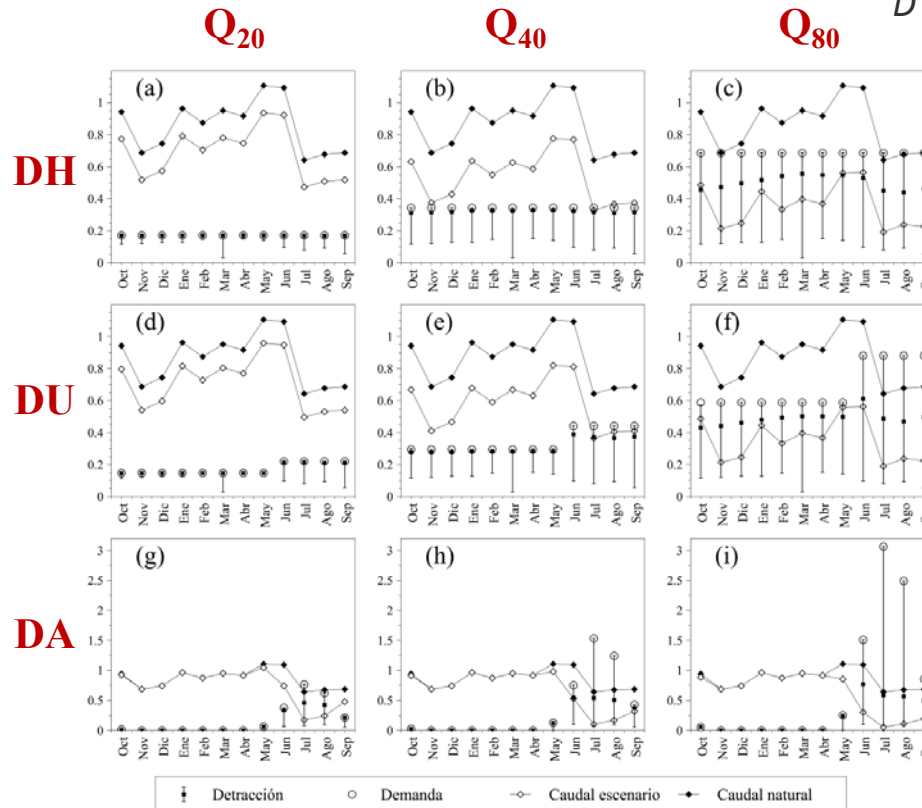
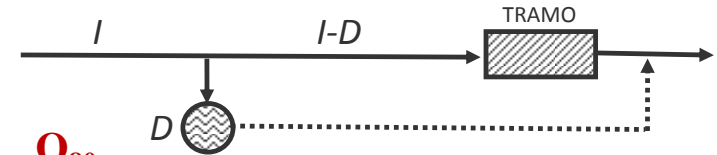


Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Detracción de caudales

- Demanda aguas arriba



ESTACIONALIDAD DE LA DEMANDA

- hidroeléctrica (constante)
- urbana (+50% Jun.- Sep.)
- agrícola (variable mes a mes; maíz)

CAUDAL DE DEMANDA

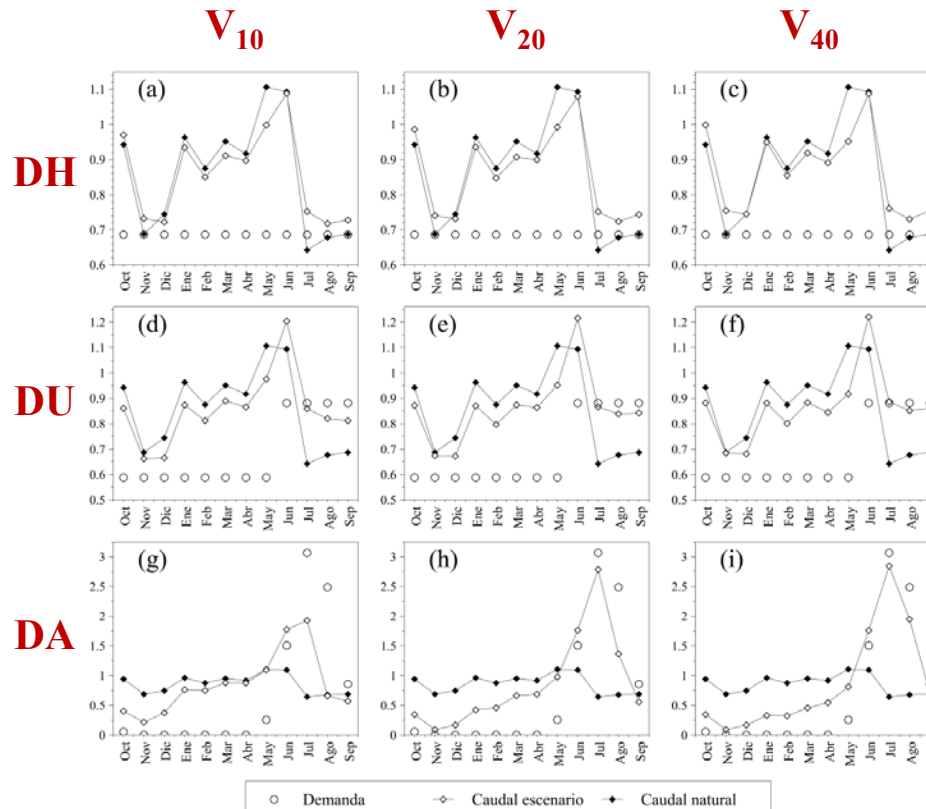
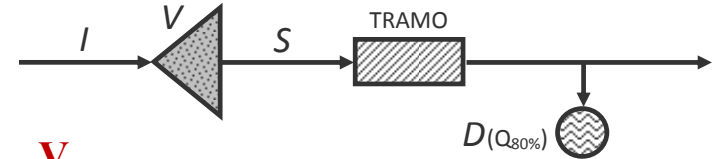
- Q_{20} , Q_{40} y Q_{80}

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Regulación de caudales

- Demanda aguas abajo



ESTACIONALIDAD DE LA DEMANDA

- hidroeléctrica (constante)
- urbana (+50% Jun.- Sep.)
- agrícola (variable mes a mes; maíz)

CAUDAL DE DEMANDA

- Q_{80}

VOLUMEN DE EMBALSE

- $V_{10}\%$, $V_{20}\%$ y $V_{40}\%$

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

Cambio climático

➤ Variaciones hidro-meteorológicas mensuales

Políticas económicas basadas en:

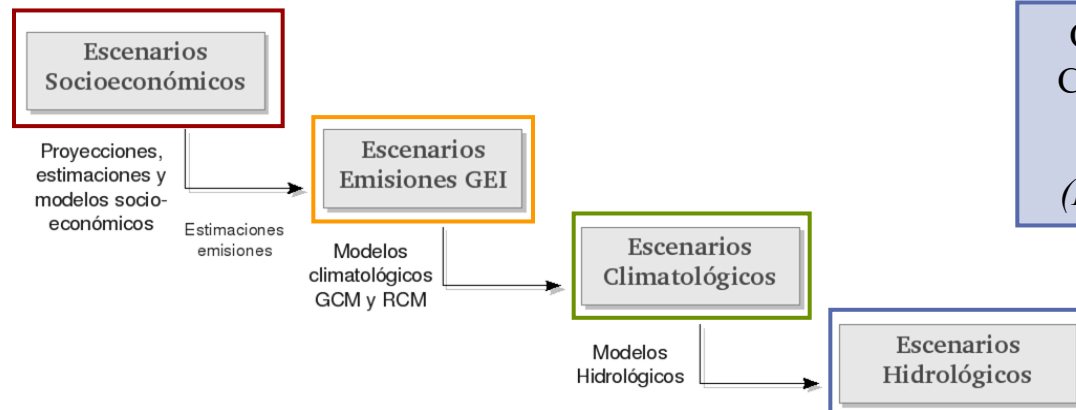
- Globalización (transporte) vs Regionalización (desarrollo local sostenible)
- Tecnologías tradicionales vs Tecnologías medioambientales

Escenarios GEI:

- A2
- B2

MCGOA:

- HadCM3
- Regionalización:
- PROMES

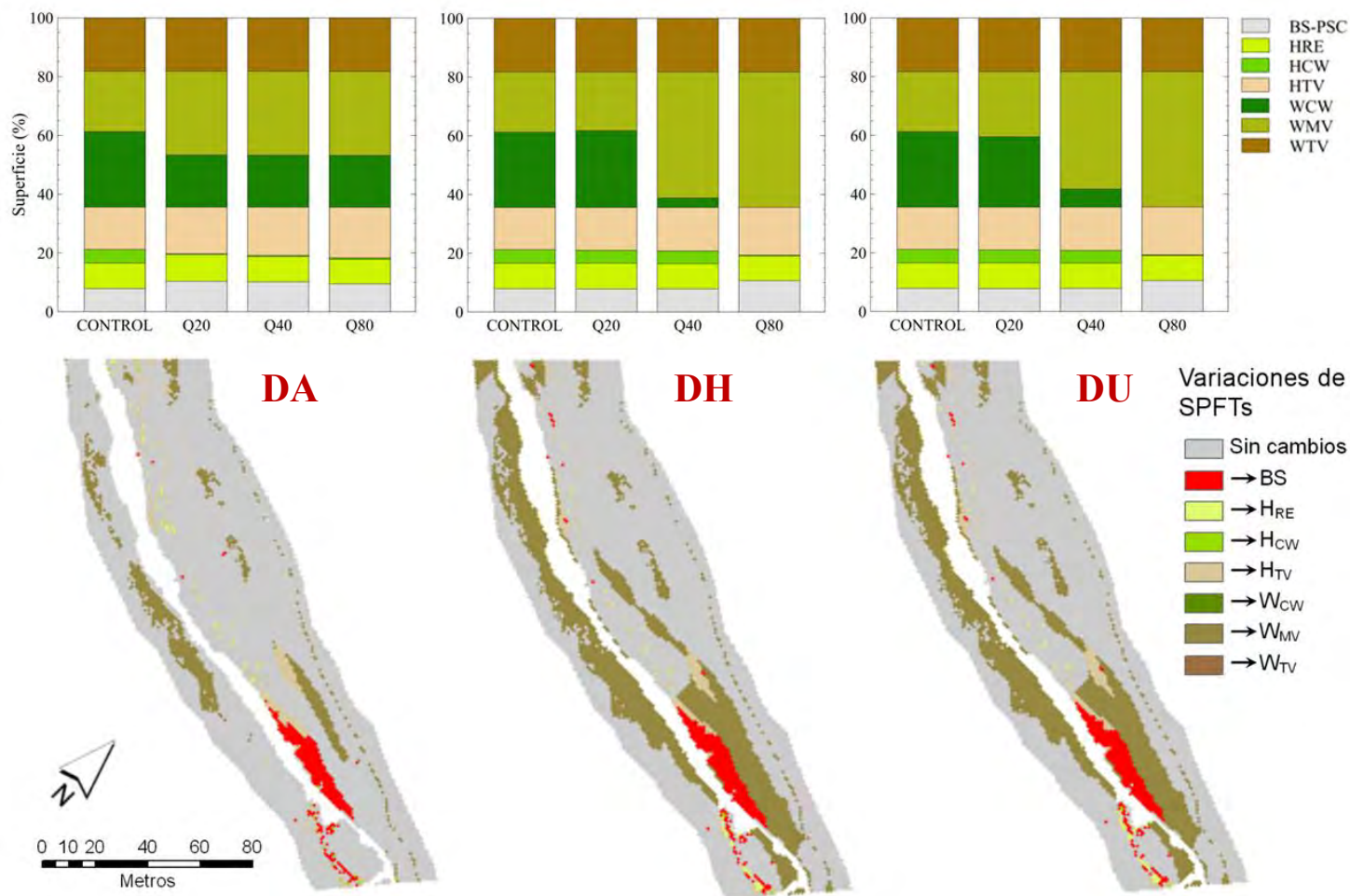


Obtenidos para la
CHJ con el modelo
PATRICAL
(Hernández, 2007)

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDm
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

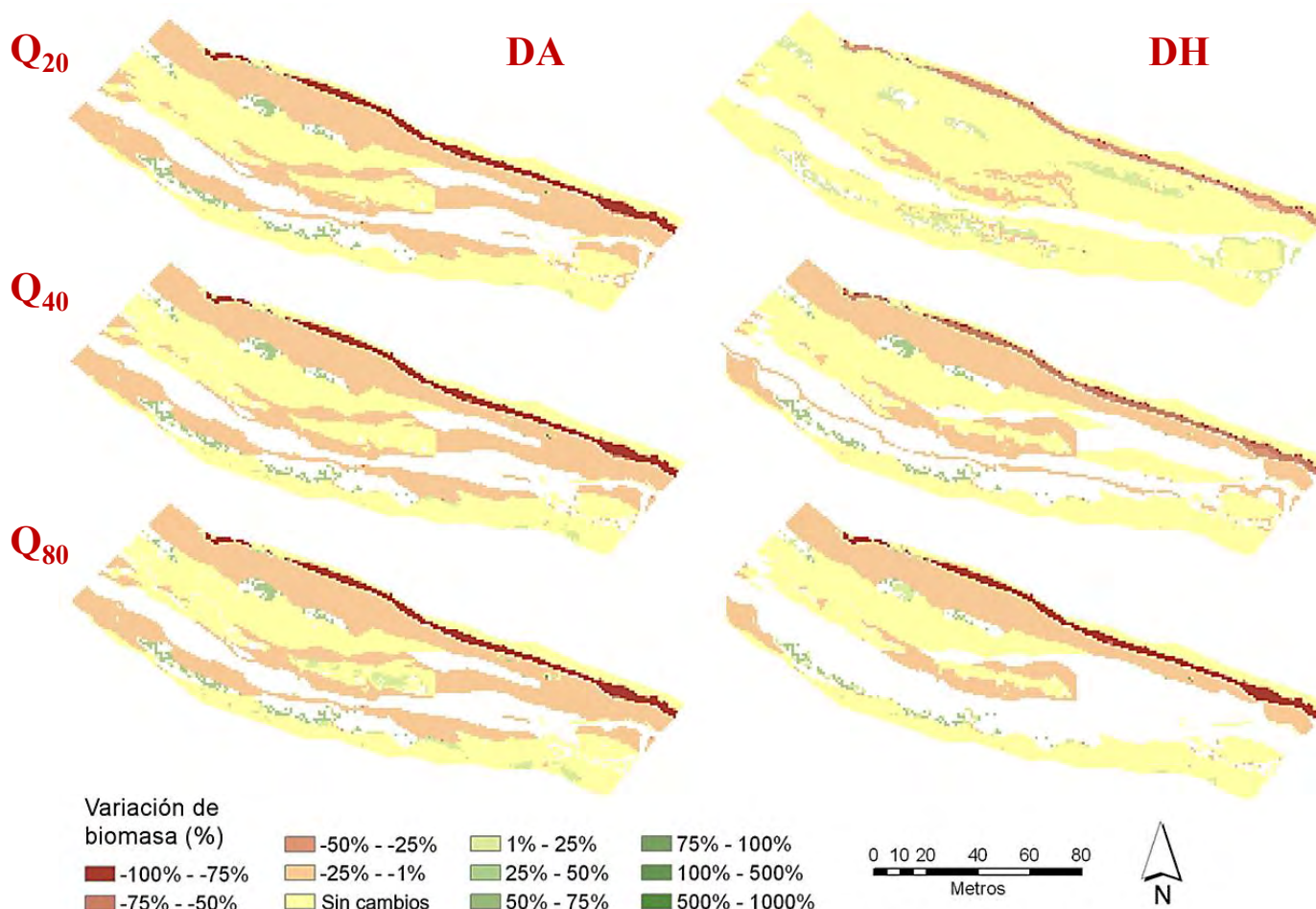
Resultados SPFTs



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
- 7. Análisis de escenarios de cambio global**
8. Conclusiones

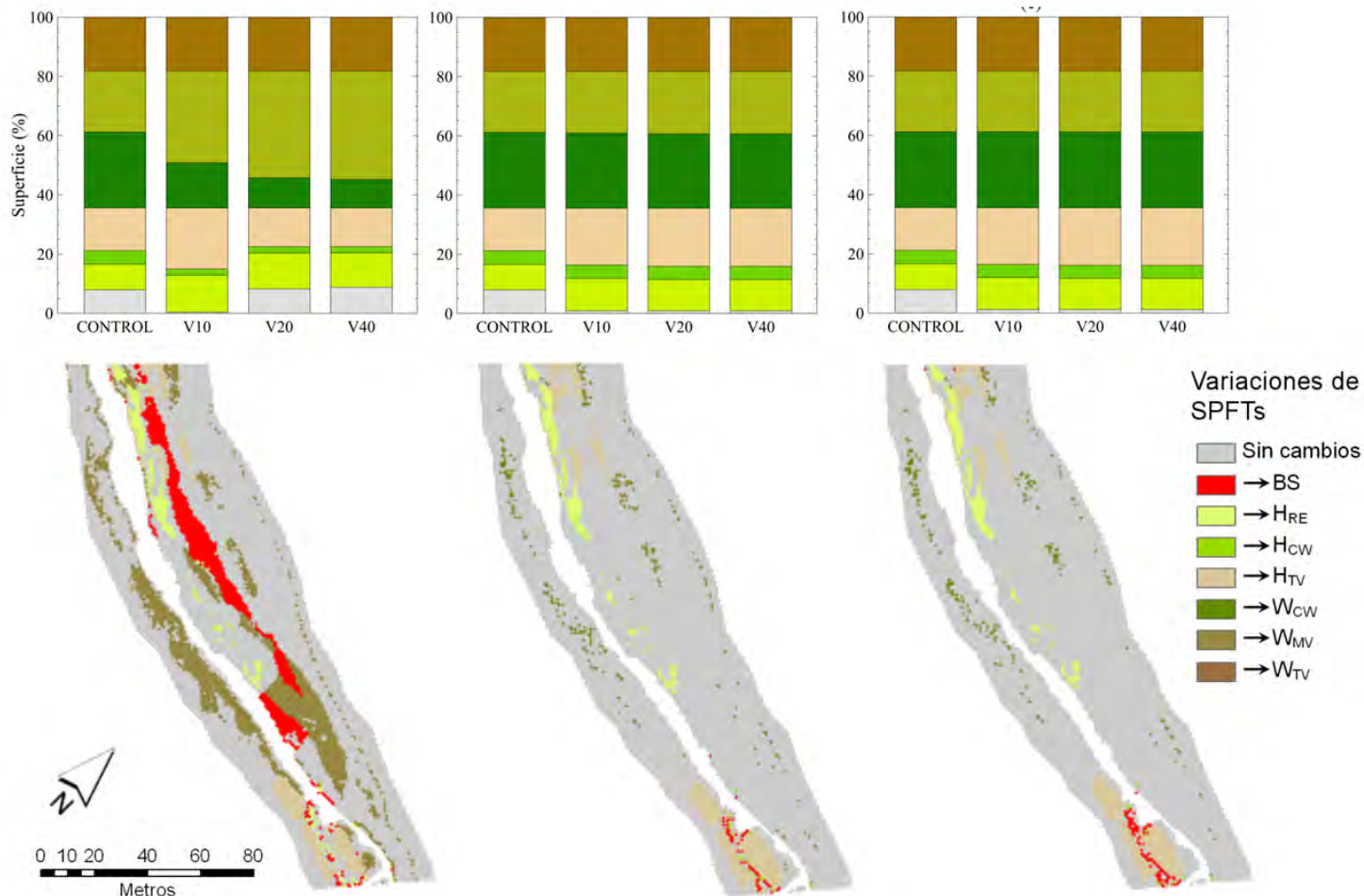
Resultados Biomasa



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

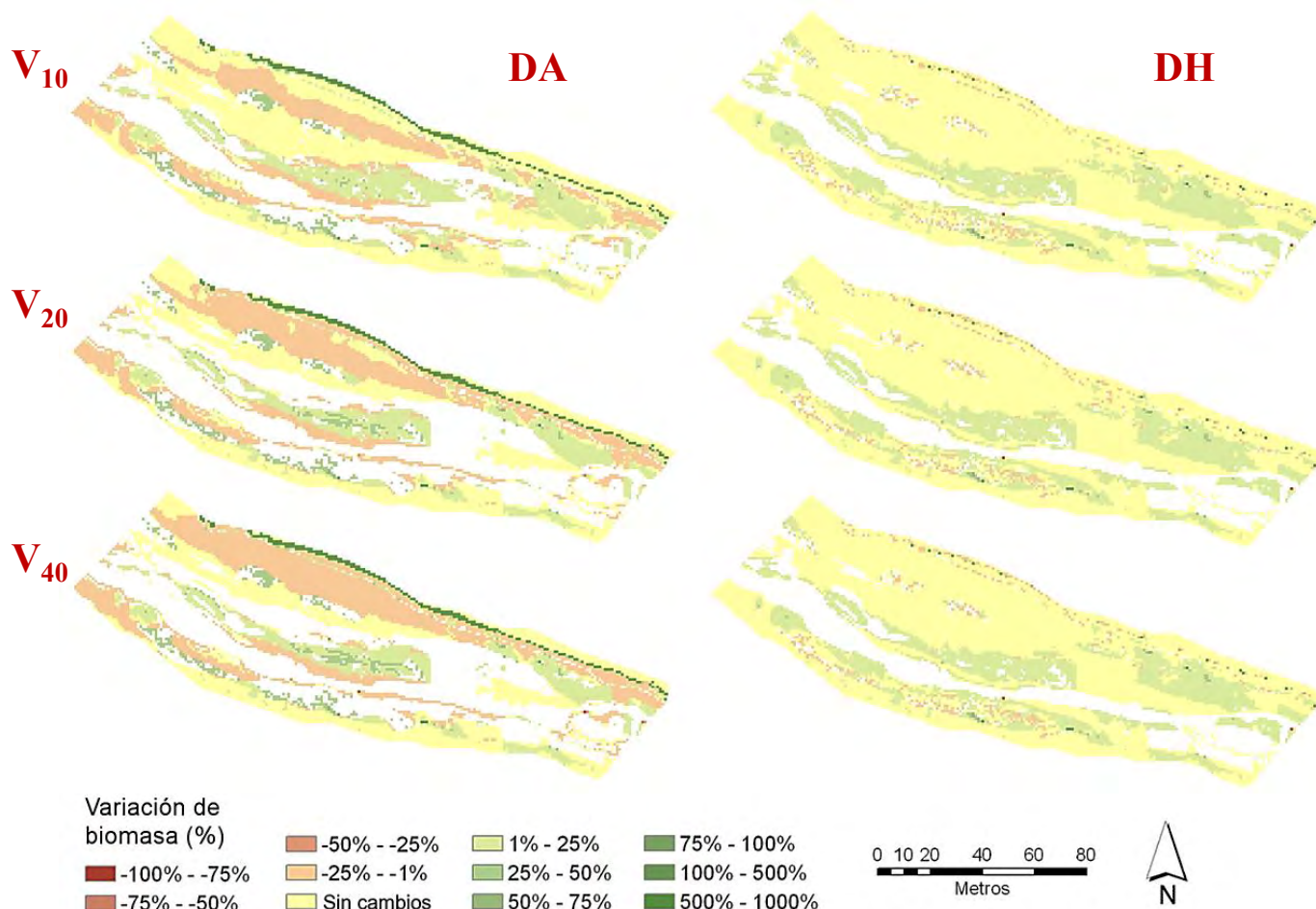
Resultados SPFTs



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
- 7. Análisis de escenarios de cambio global**
8. Conclusiones

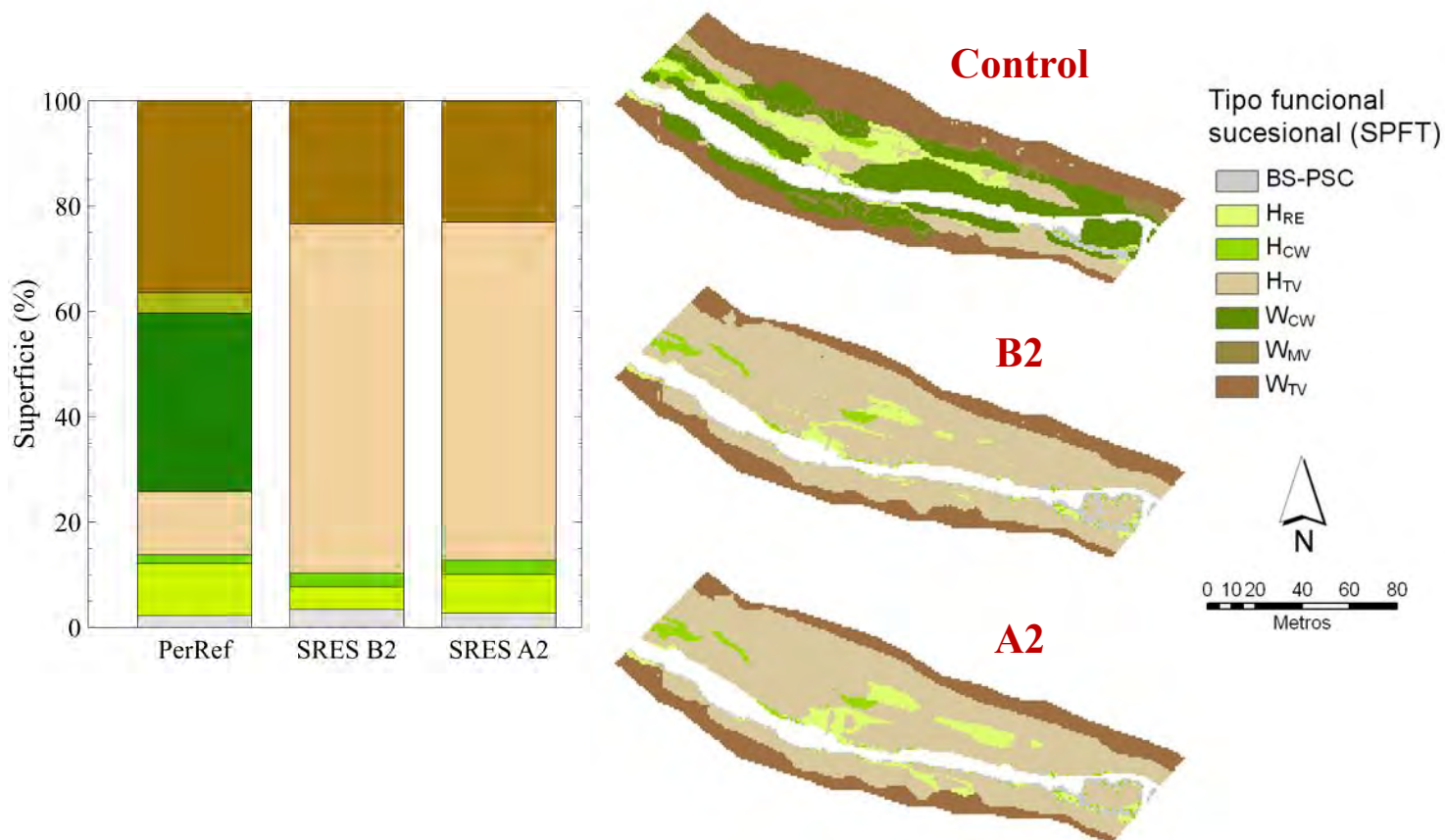
Resultados Biomasa



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDm
- 7. Análisis de escenarios de cambio global**
8. Conclusiones

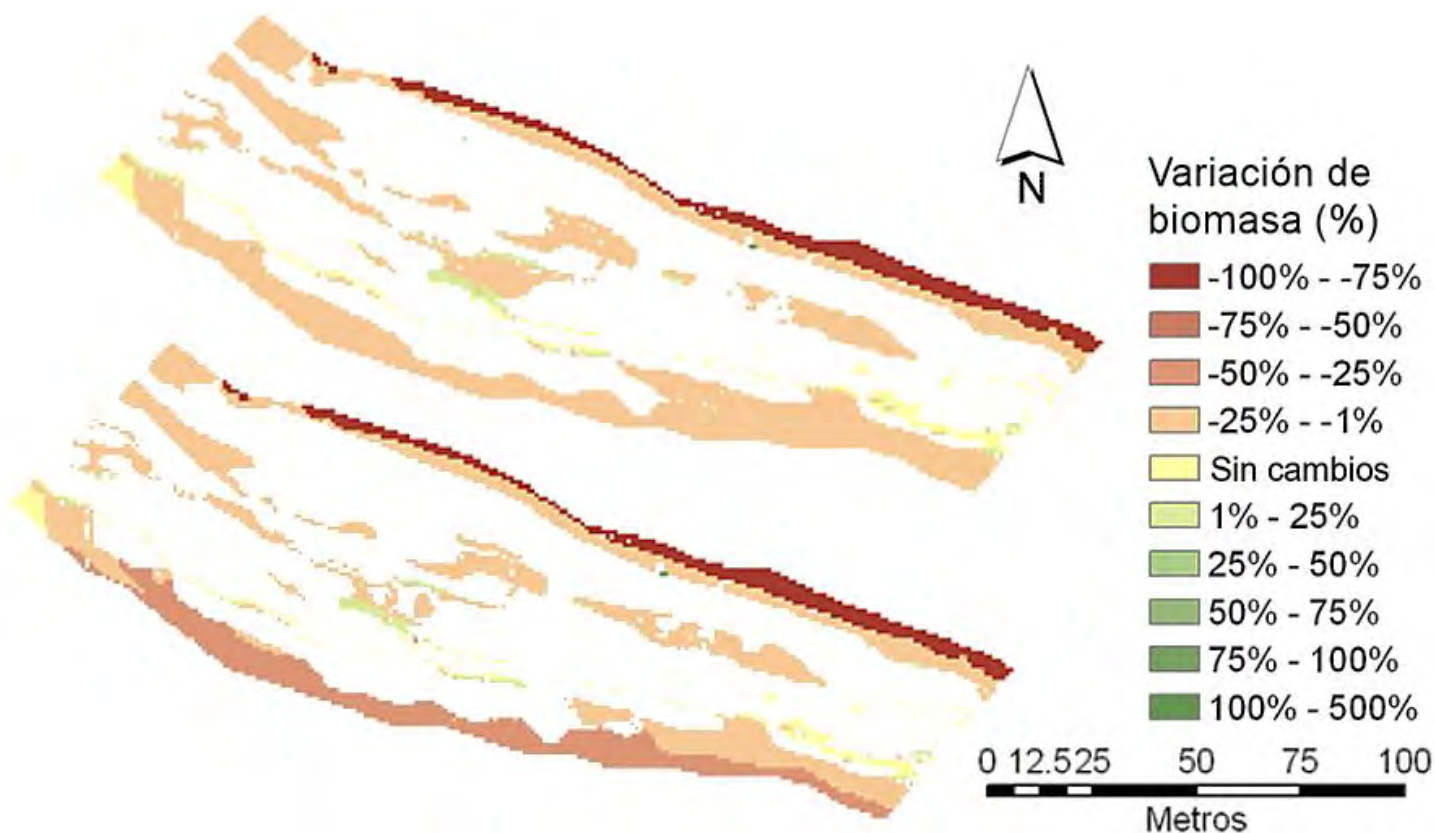
Resultados SPFTs



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
- 7. Análisis de escenarios de cambio global**
8. Conclusiones

Resultados Biomasa



Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones



Objetivo 1: Revisión e implementación de modelos preexistentes de referencia

- Se han seleccionado los **mejores modelos de referencia** en base a criterios objetivos
- La **conceptualización** de los modelos de referencia incluye la modelización de **procesos fundamentales** para la dinámica de la vegetación en las riberas
 - Aunque los modelos **se complementan no se completan**
- Los modelos se han **calibrado** y **validado** ofreciendo **resultados satisfactorios** en condiciones **mediterráneas semiáridas**
- Se han asimilado las principales **ventajas** e identificado las principales **limitaciones** de cada uno de los modelos

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones



Objetivo 2: Desarrollo de un nuevo modelo útil para la toma de decisiones en gestión hidrológica

- RVDM representa mejor los **procesos fundamentales** → análisis en áreas específicas o en variables ecohidrológicas concretas
- Su implementación es sencilla (**inputs tradicionales**) → permite análisis sistemáticos para interpretaciones científico-técnicas
- Utiliza una **resolución temporal fina** (paso temporal **diario**) → útil para analizar periodos temporales o eventos concretos
- Incluye un **nuevo enfoque de clasificación vegetal** (SPFTs) → útil tanto para investigación como para gestión ecohidrológica
- Aporta una **variable de estado complementaria** útil (biomasa) → diferencias entre parches con igual tipo de vegetación
- La **morfodinámica del río** puede ser además fácilmente incluida en la implementación → diferentes mapas de suelo y MEDs

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones



Objetivo 3: Implementación del modelo para comprobar que mejora los resultados

- RVDM reproduce la **distribución** y la **dinámica** de las comunidades vegetales riparias de **entornos mediterráneos semiáridos**
- Mejora la **calidad** y la **fiabilidad** de los resultados de modelos de referencia y proporciona resultados **excelentes** y **robustos** en **diferentes condiciones hidrológicas**
- Permite la identificación de **áreas sensibles** frente a impactos hidrológicos (**mapas complementarios de biomasa**)

Índice

1. Introducción

2. Objetivos

3. Información de partida

4. Criterios comunes de implementación

5. Modelos de referencia

6. El modelo RVDM

7. Análisis de escenarios de cambio global

8. Conclusiones

- **Objetivo 4: Análisis de escenarios que demuestre que el modelo es sensible a los cambios asociados y que los resultados son representativos**
 - RVDM identifica **variaciones potenciales** aun con cambios hidro-meteorológicos pequeños
 - Es útil para la identificación de **áreas críticas**
 - Permite demostrar que la **estacionalidad** y **magnitud** de demanda y el **tipo vegetal** presente en la celda marcan la **dirección** y **grado de impacto**
 - ✓ Detracción → **desfavorecimiento de riparias** y descenso de biomasa (serie boscosa)
 - ✓ Regulación → **avance del bosque terrestre** e incremento de biomasa (demandas agrícolas)

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDM
7. Análisis de escenarios de cambio global
8. Conclusiones

Cambio Climático



Agentes de cambio

- Incremento de T^a
- Cambios en régimen de P
- Reducción de caudales
- Cambios en valores extremos
- Etc.

Impactos y Vulnerabilidades

- Reducción de áreas riparias
 - Incremento de áreas no vegetadas
 - Mayor presencia de terrestres
- ⇒ Reducción de biomasa vegetal
- ⇒ Cambios graduales en el ecosistema ripario

Índice

1. Introducción
2. Objetivos
3. Información de partida
4. Criterios comunes de implementación
5. Modelos de referencia
6. El modelo RVDm
7. Análisis de escenarios de cambio global
- 8. Conclusiones**



Objetivo 4: Análisis de escenarios que demuestre que el modelo es sensible a los cambios asociados y que los resultados son representativos

- Identifica **variaciones potenciales** aun con cambios hidrometeorológicos pequeños
- Útil para la identificación de **áreas críticas**
- Permite demostrar que la **estacionalidad** y **magnitud** de demanda y el **tipo vegetal** presente en la celda marcan la **dirección** y **grado de impacto**
- Permite demostrar que el **régimen de caudales** es un motor de cambio pero no es el único (otras **variables ambientales**)

Líneas Futuras de Investigación

Difusión de resultados

Líneas futuras

- Interfaz gráfica (en realización)
- Interconexiones río-vegetación

Modelo **DINÁMICO**
de vegetación riparia
(RVDM)



Modelo **DINÁMICO** de
hidráulica y morfología del
cauce y las bandas riparias

- Diferentes funciones de reducción de biomasa
- Tasa de descenso (lineal o variable) del nivel freático
- Clasificaciones vegetales más eficientes
- Inclusión de un sistema de evaluación del estado ecológico del ecosistema ripario

Difusión de resultados



Líneas Futuras
de Investigación

Difusión de
resultados

Artículos en revistas científicas

García-Arias A, Francés F, Ferreira MT, Egger G, Martínez-Capel F, Garófano-Gómez V, Andrés-Doménech I, Politti E, Rivaes R, Rodríguez-González PM. 2013. **Implementing a dynamic riparian vegetation model in three European river systems.** *Ecohydrology* 6(4):635-651. DOI: 10.1002/eco.1331

García-Arias A, Francés F, Morales-de la Cruz M, Real J, Vallés-Morán F, Martínez-Capel F, Garófano-Gómez V. 2014. **Riparian evapotranspiration modelling: model description and implementation for predicting vegetation spatial distribution in semi-arid environments.** *Ecohydrology* 7:659-677. DOI: 10.1002/eco.1387

Rivaes R, Rodríguez-González PM, Ferreira MT, Pinheiro AN, Politti E, Egger G, **García-Arias A**, Francés F. 2014. **Modeling the evolution of riparian woodlands facing climate change in three European rivers with contrasting flow regimes.** *PLoS ONE* 9(10):e110200, DOI: 10.1371/journal.pone.0110200.

García-Arias A, Francés F. 2015. **The RVDM model: modelling impacts, evolution and competition to determine riparian vegetation dynamics.** *Ecohydrology*. DOI: 10.1002/eco.1648



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA
Y MEDIO AMBIENTE

DESARROLLO DE UN MODELO ECOHIDROLÓGICO PARA EL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE ECOSISTEMAS RIPARIOS



Alicia García Arias (algarar2@upv.es)