

Modelos ecogeomorfológicos para zonas áridas y semiáridas

Patricia M. Saco



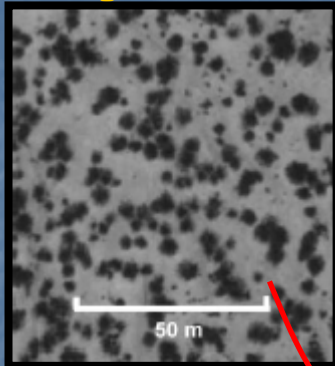
Colaboradores:
Garry R. Willgoose
Mariano Moreno de las Heras

Patrones de Vegetación en Zonas Áridas

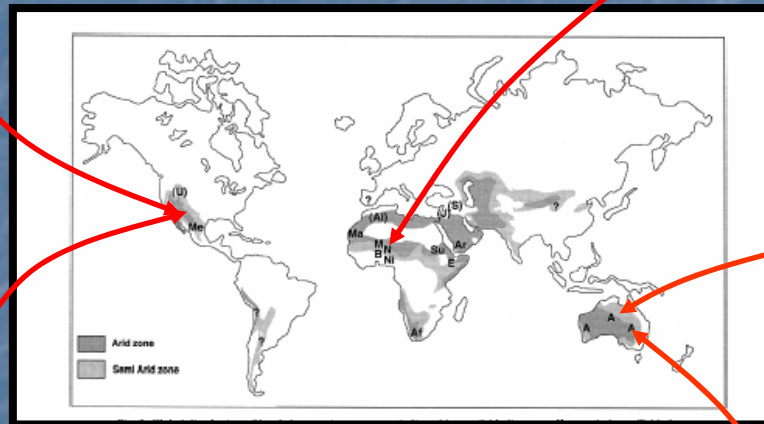
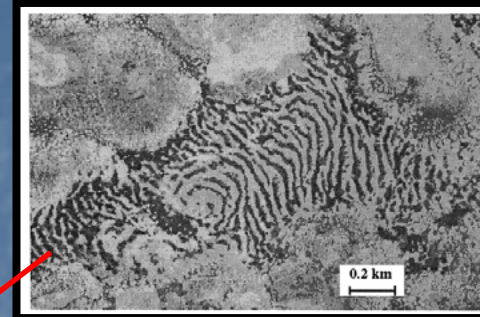
- Acoplamiento entre vegetación e hidrología es particularmente fuerte en zonas secas donde las condiciones de agua limitante son el mayor condicionamiento para el crecimiento y sobrevivencia de la vegetación.
- La Vegetación comúnmente se auto-organiza en un mosaico por dos fases, compuesto por manchas con alta biomasa y manchas con biomasa baja o desnudas. Patrones: bandas, manchas, laberintos, etc.



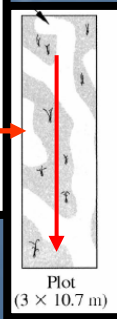
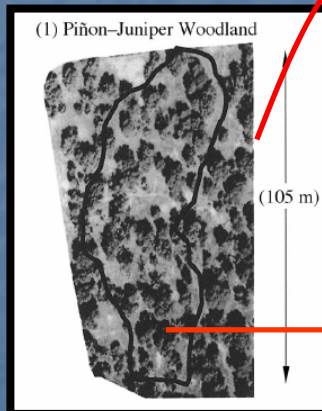
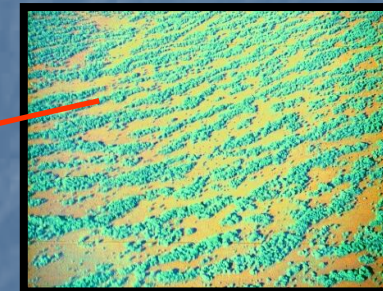
Patrón de manchas (spotted)
(creosotebush) en el desierto de
Chihuahua en New Mexico
(Wainwright et al., 2002)



Patrón de bandas típico
Nigeria (Valentin et al.,
1999) MONTE ATIGRADO

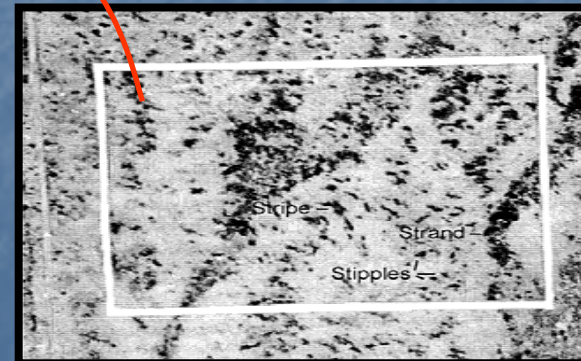


Northern Territory:
Bosque de Acacias.
www.nt.gov.au/ipe/pwcnt



Distribución de patrones de
bandas (Valentin et al., 1999)

Mesita del Buey, sitio
de estudio en el Norte
de New Mexico.
(Wilcox et al. 2003)

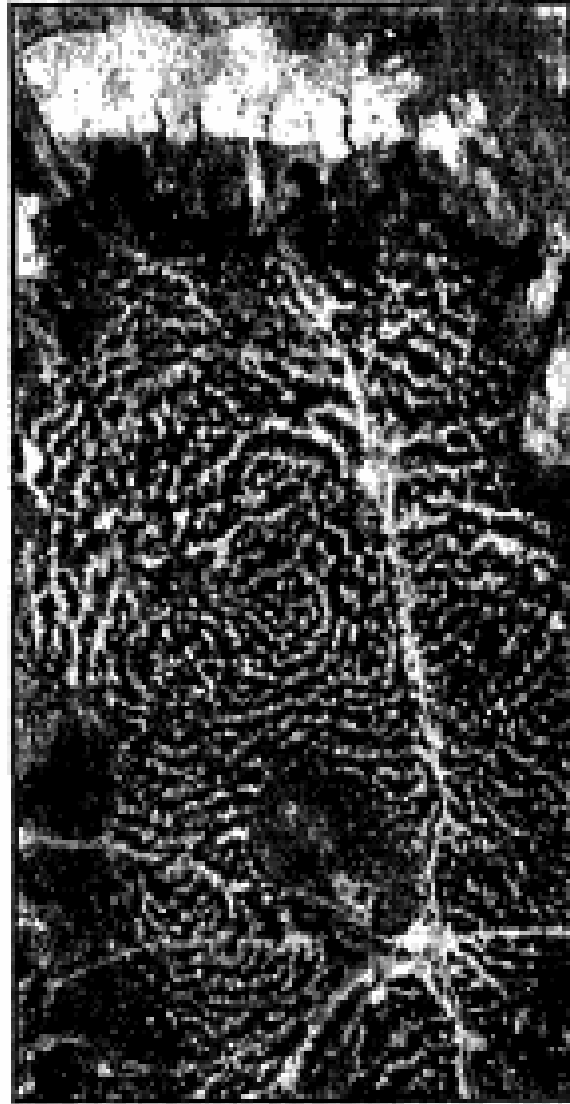


Acacia aneura in patrones de banda en un
sitio de 200 ha in NSW Australia (Ludwig
et al., 1999)

Motivación

- **Perturbaciones Ambientales** debidas a cambios climáticos o actividades antropogénicas (pastoreo o tala) han dado origen a diferentes niveles de desertificación o degradación de este tipo de ecosistemas en numerosas partes del mundo:
- Los efectos debidos a actividades humanas alteran los patrones de vegetación (reduciendo la cobertura y/o densidad) e inician procesos erosivos. Efectos de retro-alimentación positiva pueden refuerzar el proceso de degradación. (Cambios en la conectividad del sistema)
- La cantidad de recursos (agua, nutrientes, etc) retenidos por el sistema está relacionado con el grado de degradación (perdida de biomasa, incremento de escurrimiento superficial, incremento de erosión). (Cambio en la conectividad)

Degradación y cambios de conectividad en Nigeria



1960



1992

- Fragmentación del "tiger bush-Monte atigrado" en el periodo 1960-1992.
- 1960, no hay conexión de agua superficial entre los bordes superior e inferior de la ladera.
- 1992, hay observaciones de escurrimiento superficial que conecta grandes porciones de la ladera, reducción en la cantidad de agua disponible para las bandas de vegetación, aparición de surcos erosivos.

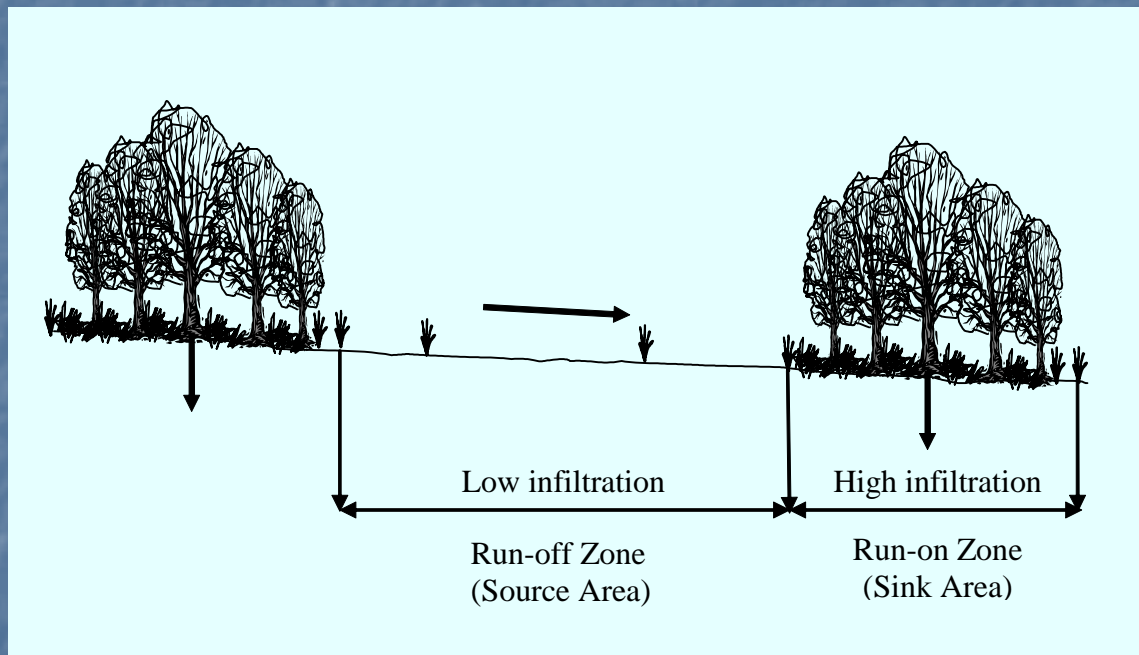
Wu et al., Journal of Ecology, 2000.

Motivación

- Perturbaciones Ambientales debidas a cambios climáticos o actividades antropogénicas (pastoreo o tala) han dado origen a diferentes niveles de desertificación o degradación de este tipo de ecosistemas en numerosas partes del mundo:
 - Los efectos debidos a actividades humanas alteran los patrones de vegetación (reduciendo la cobertura y/o densidad) e inician procesos erosivos. Efectos de retro-alimentación positiva pueden refuerzar el proceso de degradación. (Cambios en la conectividad del sistema)
 - La cantidad de recursos (agua, nutrientes, etc) retenidos por el sistema está relacionado con el grado de degradación (perdida de biomasa, incremento de escurrimiento superficial, incremento de erosión). (Cambio en la conectividad)
- Entender la dinámica no-lineal de la interacción de los procesos hidrológicos, ecológicos y erosivos en áreas áridas y semiáridas es esencial para los responsables de toma de decisión preocupados por los fenómenos de desertificación.
- Necesidad de incorporar efectos de manchas de vegetación y redistribución de escurrimiento (debidos a infiltración espacialmente variable) en los modelos de erosión y evolución geomorfológica.

Re-distribución de Recursos

- Infiltración es mas alta en áreas cubiertas de vegetación (agregados del suelo mejorados y más macroporos debido a actividad biológica: raíces, hormigas) que en las zonas desnudas (costras superficiales).



I_v hasta $10 I_b$

- Emerge un sistema de redistribución de escurrimiento superficial auto-sostenido.

Objetivos

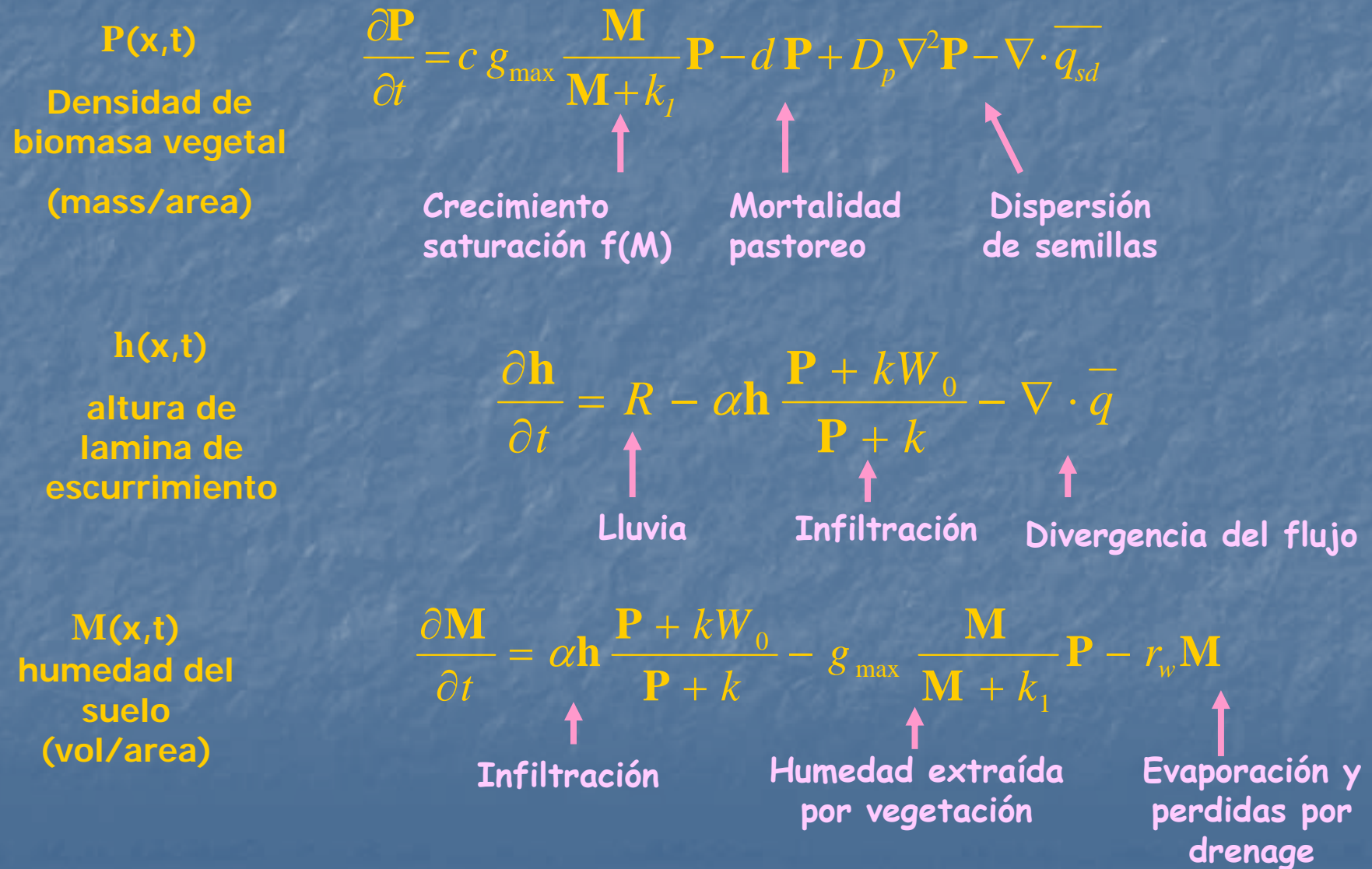
- Desarrollo de un modelo acoplado de vegetación dinámica y evolución geomorfológica:
 - que tenga en cuenta en forma explícita la dinámica de re-distribución de agua superficial inducida por la vegetación
 - que incluya el efecto de la topografía (dinámica) y de los patrones de vegetación (nuevo a este tipo de modelos).
- Provea nuevo entendimiento de las interacciones no-lineales entre los patrones de vegetación, la re-distribución de agua superficial y la erosión en áreas áridas y semiáridas.

Modelo de Vegetación Dinámica

- Efecto de patrones de vegetación en la erosión (hídrica) es estudiado a la escala de ladera (100m.).
- Se desarrollo un modelo nuevo que captura esta dinámica, extendiendo modelos ecológicos existentes (Lefever and Lejeune, 1997; Klausmeier, 1999; HilleRisIambers et al., 2000; Handerberg et al., 2001 ; Rietkerk et al., 2002).
- El modelo incluye anisotropía en la dispersión de semillas y una ecuación física para la redistribución de escurrimiento superficial.
- Desarrollado para acoplarlo a modelos que computan direcciones de flujo a partir de la topografía (DEM, datos digitales de elevación) o modelos de evolución formas topográficas.

Modelo de Vegetación Dinámica

Describe la dinámica de tres variables de estado (Saco et al., 2007):



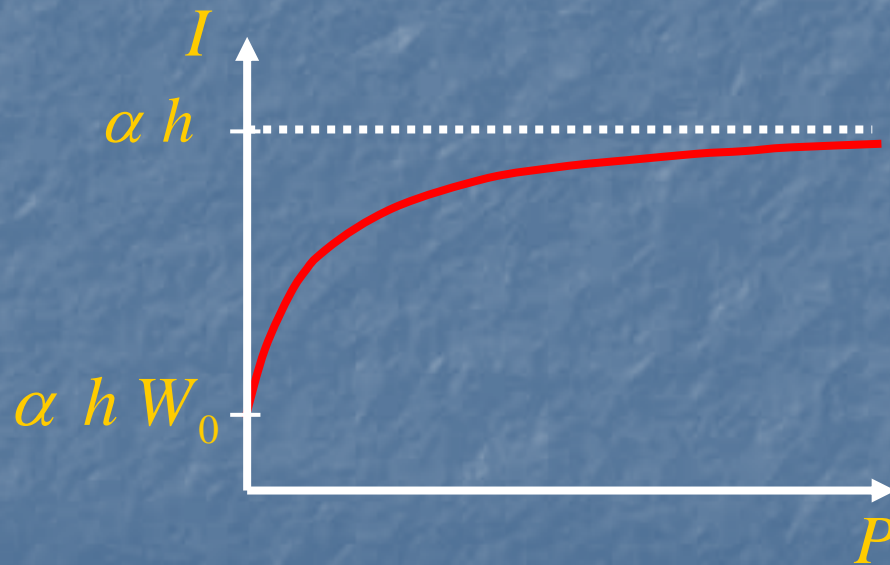
Infiltración

(Rietkerk et al. , 2002; Walker et al. , 1981)

$$I = \alpha h \frac{P + kW_0}{P + k}$$

P = biomasa densidad de biomasa

h = altura de lamina de agua

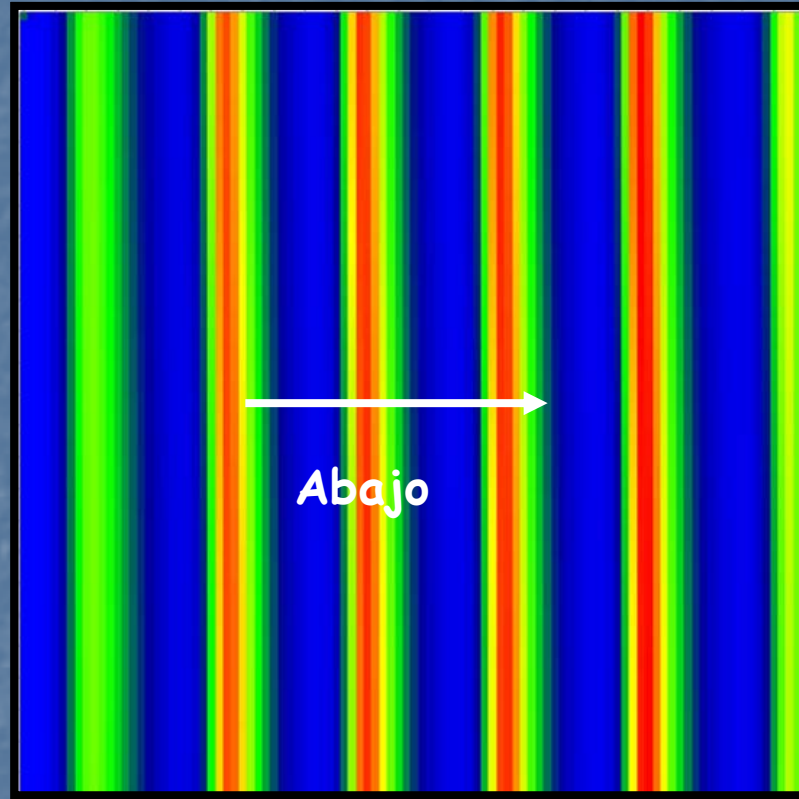


$W_0 = 1$ no depende de biomasa

$W_0 \ll 1$ alta dependencia

Notar que h (altura de agua) también tiene un rol importante en la regulación de la tasa de infiltración.

Auto-Organización



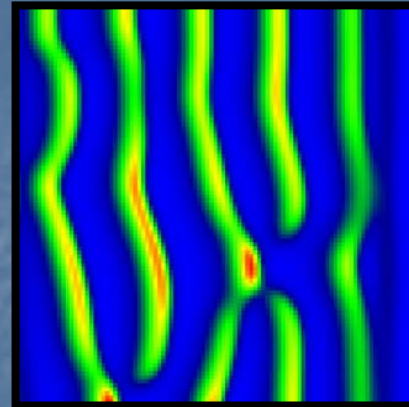
† = +1560-50 años.

(pido) (algún día) (sobre) (la) (ca)

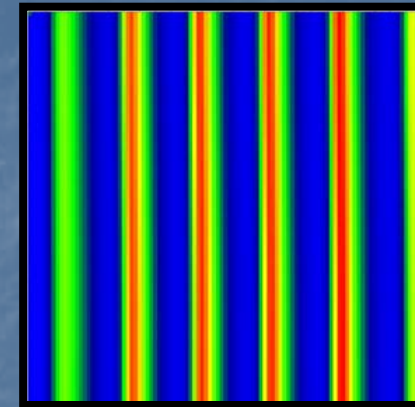
Auto Organización



$t = 0$



$t = 560$ days



$t = 15$ years.

(picos aleatorios de biomasa)

(veg. bandas estables)

- Modelo reproduce bandas de vegetación "móviles" (Sudan y otros loc.) y estacionarias (Australia).
- Incremento en R (>550-600 mm/año) produce una cobertura de biomasa uniforme.
- Efecto de topografía es incorporado a través del acoplamiento con el modelo (geomorfológico) de evolución de formas de terreno (direcciones de flujo son estimadas por este modelo – SIBERIA).
- Manchas de vegetación se pueden obtener incluyendo el efecto espacial de raíces en la por agua. (Gilad et al., 2004)

Modelo de Evolución Geomorfológica de Topografía (Siberia)

Modelo físicamente basado:

La evolución del terreno en un punto se deriva directamente de la conservación de la masa de sedimentos (Willgoose et al., 1991) :

Cambios en elevación Levantamiento tectónico Erosión - Deposition

$$\frac{\partial z}{\partial t} = U - \left(\frac{\nabla \cdot \bar{q}_s}{\rho_s (1 - n)} + \nabla \cdot \bar{q}_d \right)$$

Transporte de sedimentos fluvial Transporte de masa difusivo

Procesos de transporte de sedimentos considerados incluyen:

- transporte de sedimento fluvial
- mecanismos difusivos de movimiento de sed. (creep-fluencia del suelo, efectos de impacto de gotas de lluvia)

Modelo Geomorfológico (Siberia)

$$q_s = \beta_1 q^{m_1} S^{n_1}$$

q = descarga por unidad de ancho (se computa en el módulo de vegetación)

S = pendiente local

β_1 = tasa de transporte de sedimento, función del tamaño de grano, cobertura vegetal y use de suelo (análogo al factor K en otros modelos de erosión, j.. CREAMS, USLE, cambia con densidad de biomasa)

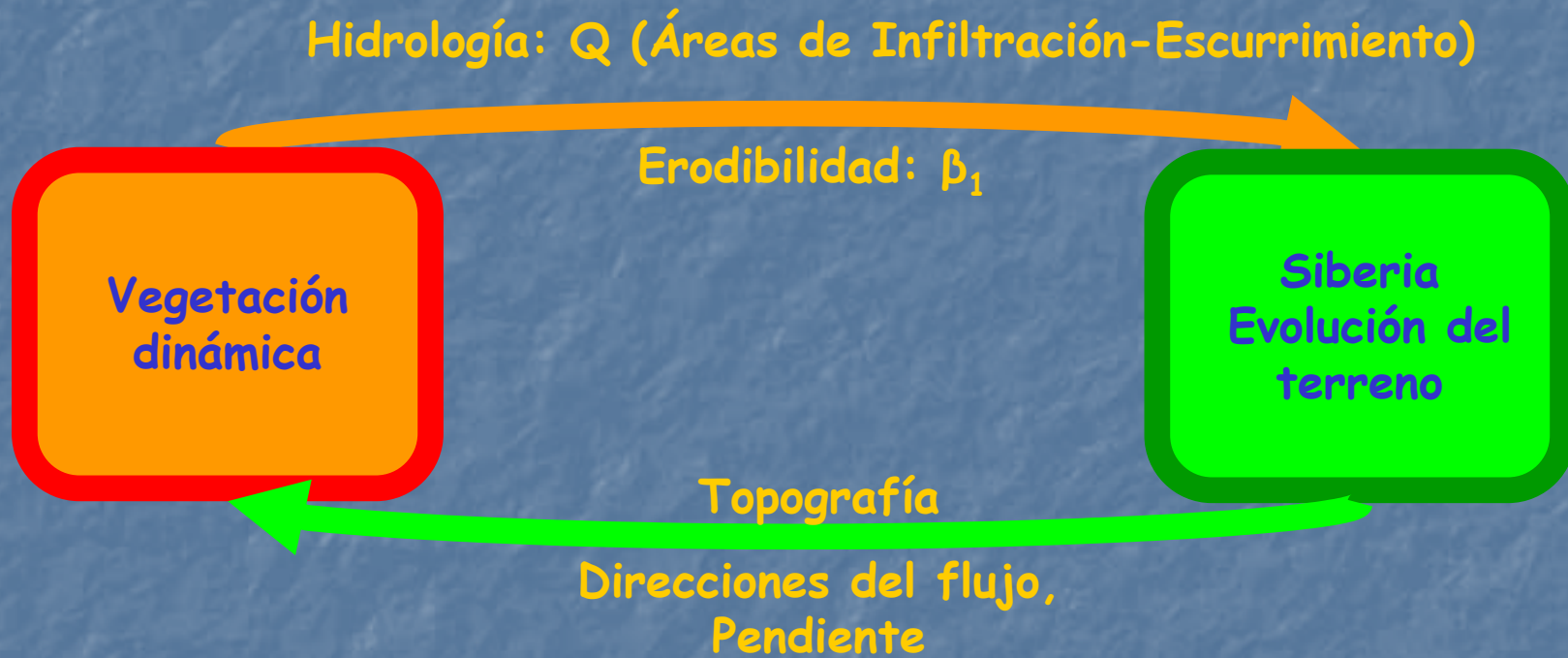
m_1, n_1 son parámetros del modelo de transporte fluvial.

Modelo de difusión esta basado en conceptualizaciones (MUY simples y muy usadas) de mecanismos de movimiento de masa (Ej.: Creep de suelos, impacto de gotas).

$$q_d = D S$$

D = coeficiente de difusividad.

Modelo Acoplado



- **Resultados para casos estudiados con topografías iniciales diferentes.**
- **Las simulaciones corresponden a una ladera de 200mx200m, con $R=350$ mm/año.**

Caso 1 (Menindee)

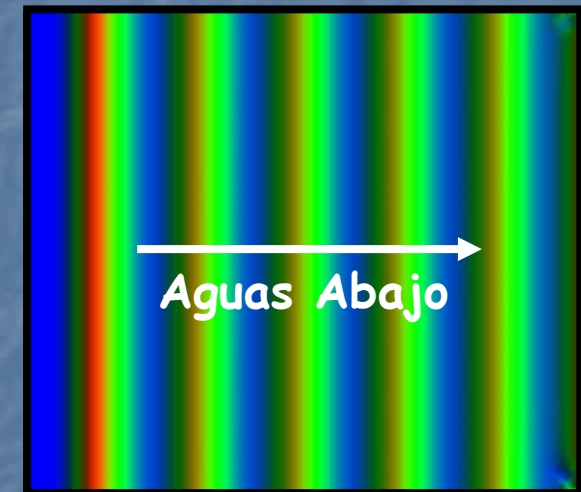
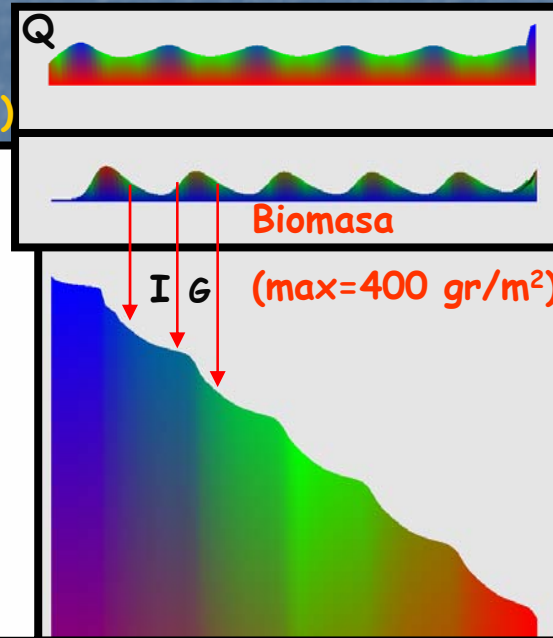
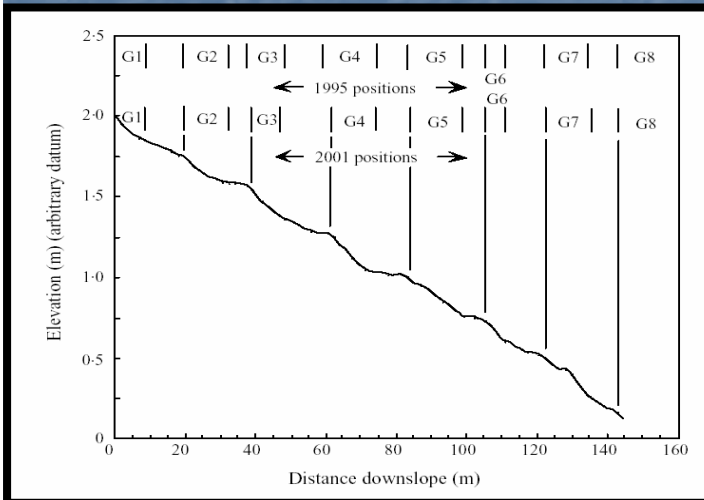


Caso 1 (Menindee)

I.C.: pendiente espacialmente uniforme (1.4%).

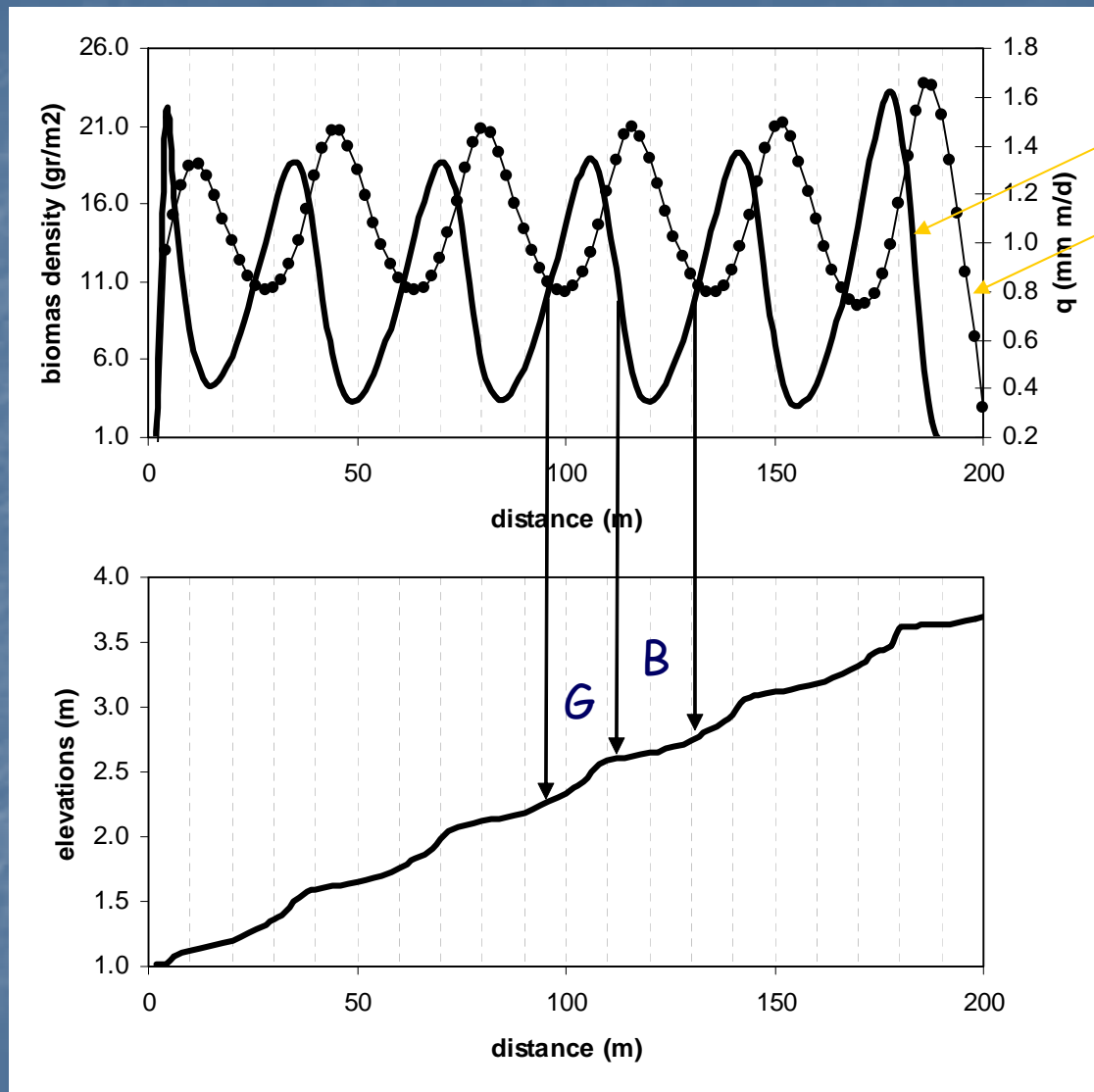
Márgenes de las bandas en una transecta en Menindee (arbustos "chenopod"), NSW, Australia, extraído de Dunkerley & Brown (2002)

Topografía a los 500 años

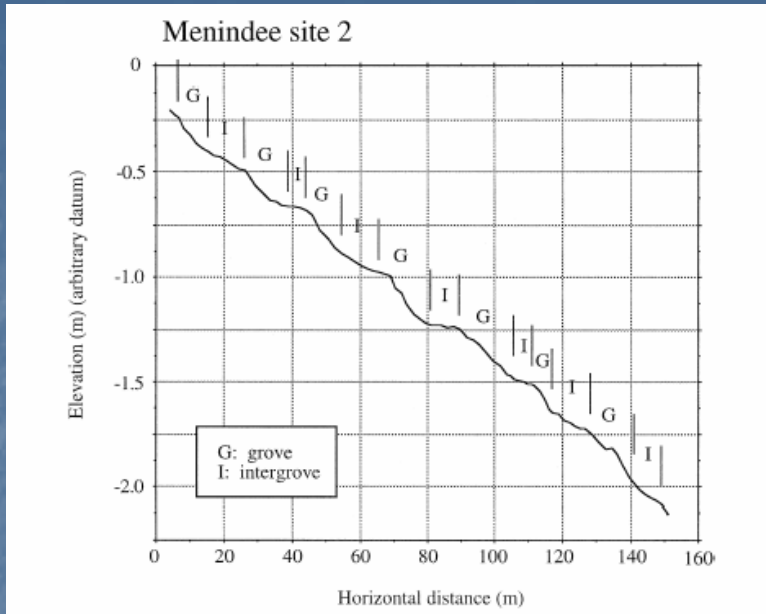


Pendiente media = 1.4%, G= Cobertura de biomasa alta, I= Suelo desnudo

- Para $t > 15$ años: bandas de vegetación se han desarrollado completamente y permanecen fijas (estacionarias).
- La microtopografía desarrollada en el perfil de la pendiente coincide con la de perfiles observados.

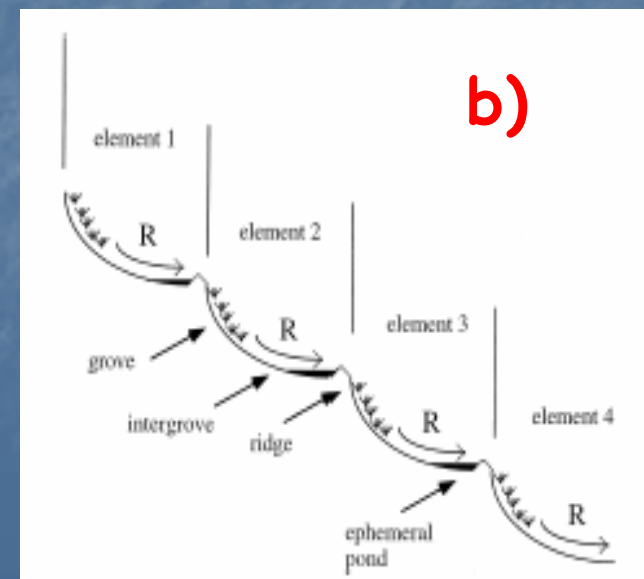
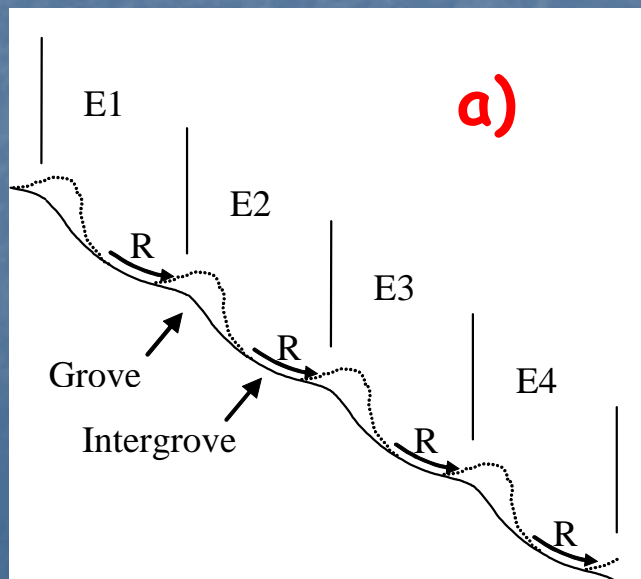


Saco et al., 2007



Perfil topográfico del uno de los sitios con vegetación en bandas (extraído de Dunkerley and Brown, 1999).

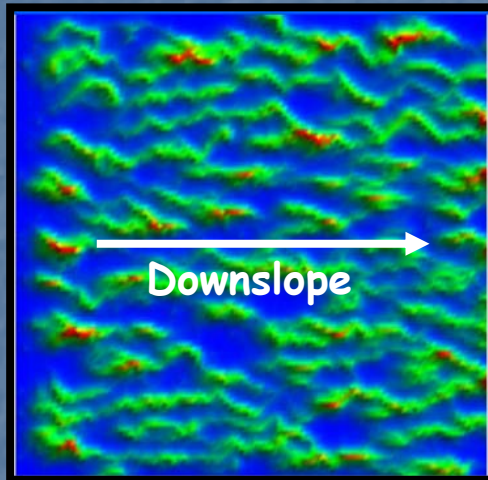
- a) Diagrama esquemático de microtopografía (línea continua), vegetación (línea punteada) y redistribución de agua superficial (flechas curvas) que surge (auto-organizándose) en nuestro modelo.
- b) Marco de referencia empírico de microtopografía reportado por Dunkerley and Brown [1999].



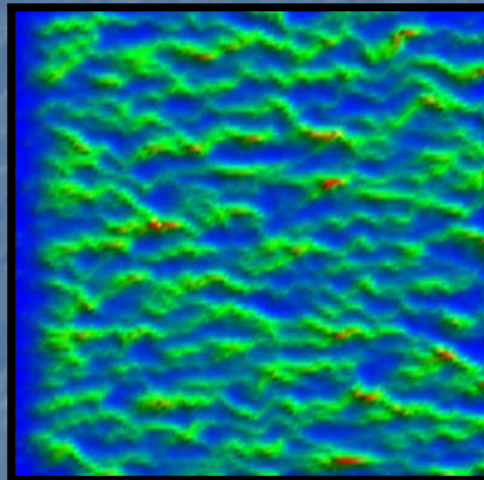
Caso 2

C.I.: Perturbaciones aleatorias pequeñas agregadas a la pendiente uniforme.

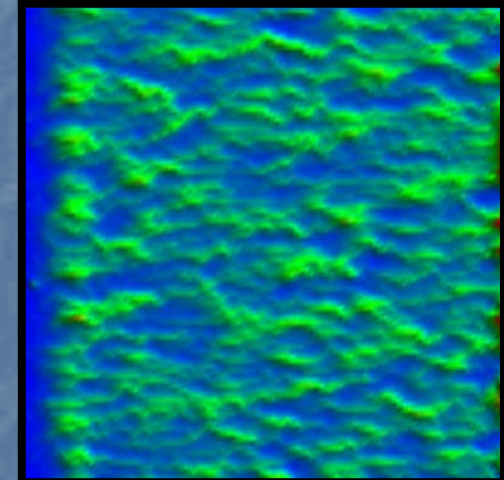
10 años



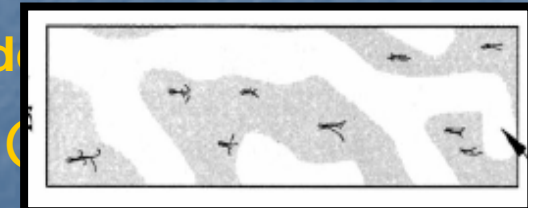
50 años



200 años



- Vegetación no se organiza en un patrón de bandas.
- Vegetación evoluciona en forma continua con cambios de color.
- Patrón (organización) similar a la reportada por Wilcox (1983).
- Patrones mostrados se desarrollan para valores de dispersión pequeños en el modelo de erosión.
- Dispersión alta resulta en el desarrollo de bandas.

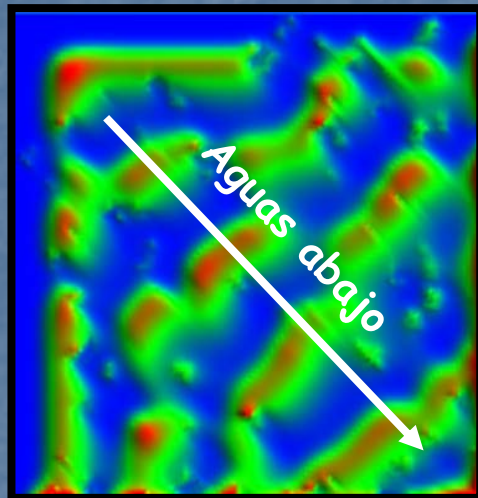


Caso 3

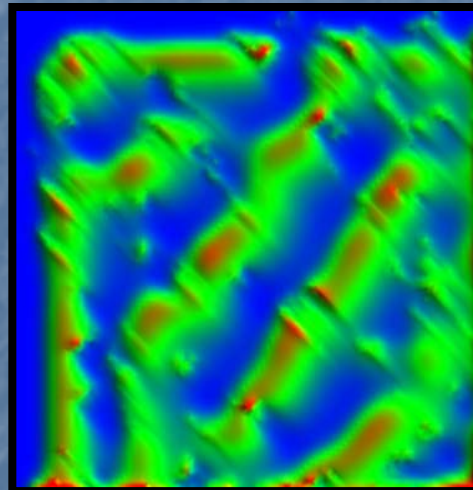
C.I.: ■ algunas depresiones agregadas al la pendiente uniforme inicial (1.4%).

- desembocadura en una esquina.

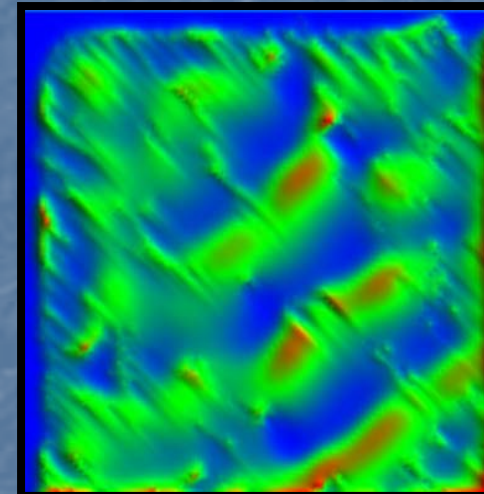
6 años



50 años

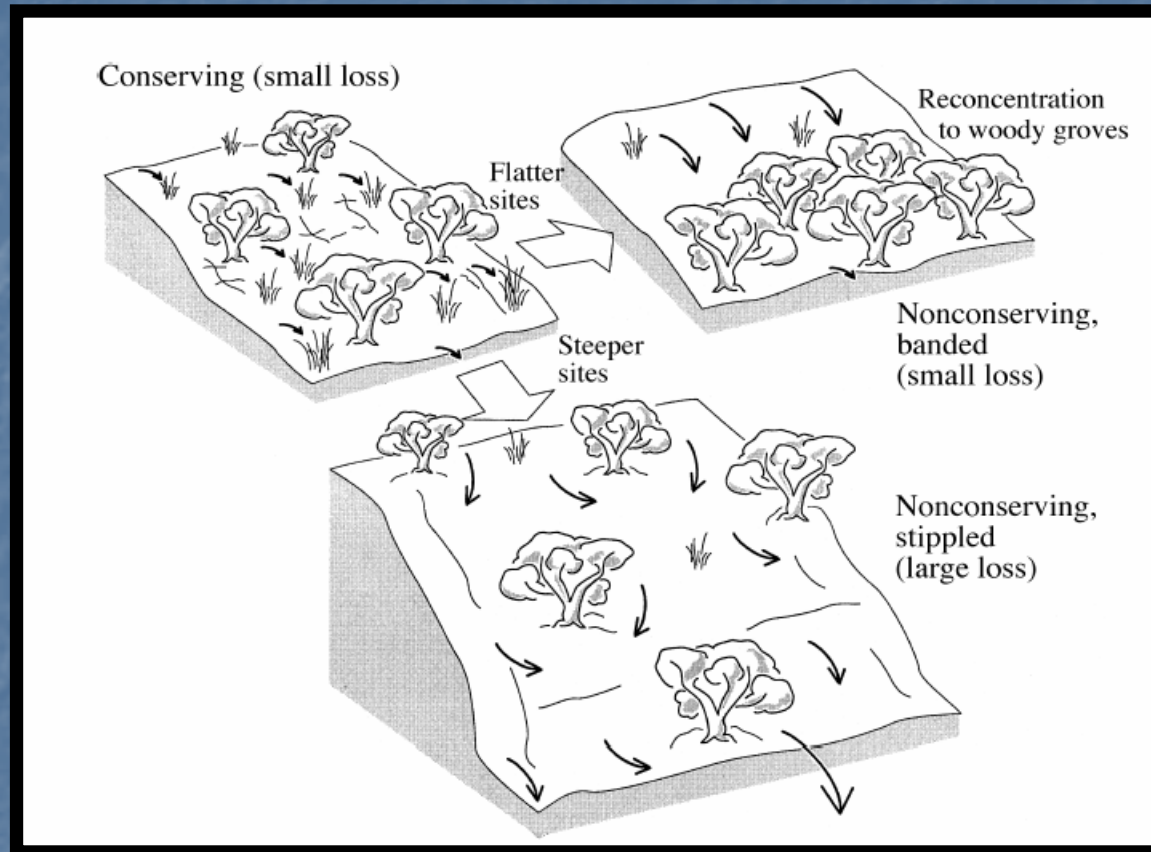


100 años



- Respuesta Inicial: bandas de vegetación irregulares.
- Veg. se desarrolla en respuesta a cambios microtopográficos.
- bandas desaparecen (procesos transporte de sed. difusivos bajos)

Conectividad



(FIG. 10 - Wilcox et al. 2003) Conceptualización de procesos de en zonas "de conservación" de recursos vs. escurrimiento superficial en zonas caracterizadas por vegetación en manchas o bandas (con pérdidas).

Auto-Organización

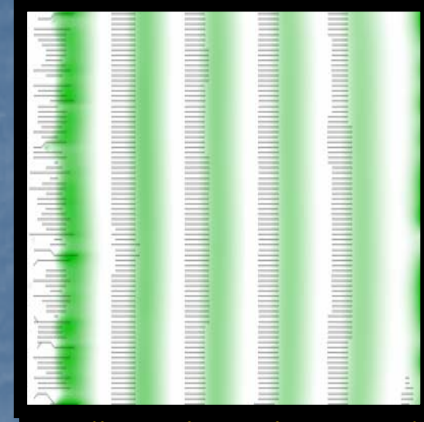


$t=0$
(picos aleatorios de biomasa)

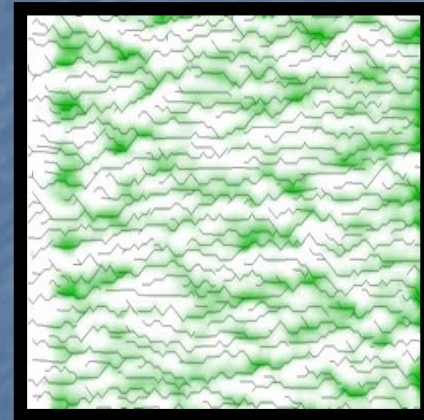
$t=0$
(misma conectividad inicial)

Conectividad

Evoluciona



(bandas de veg.)



(veg. alineada con el escurrimiento)

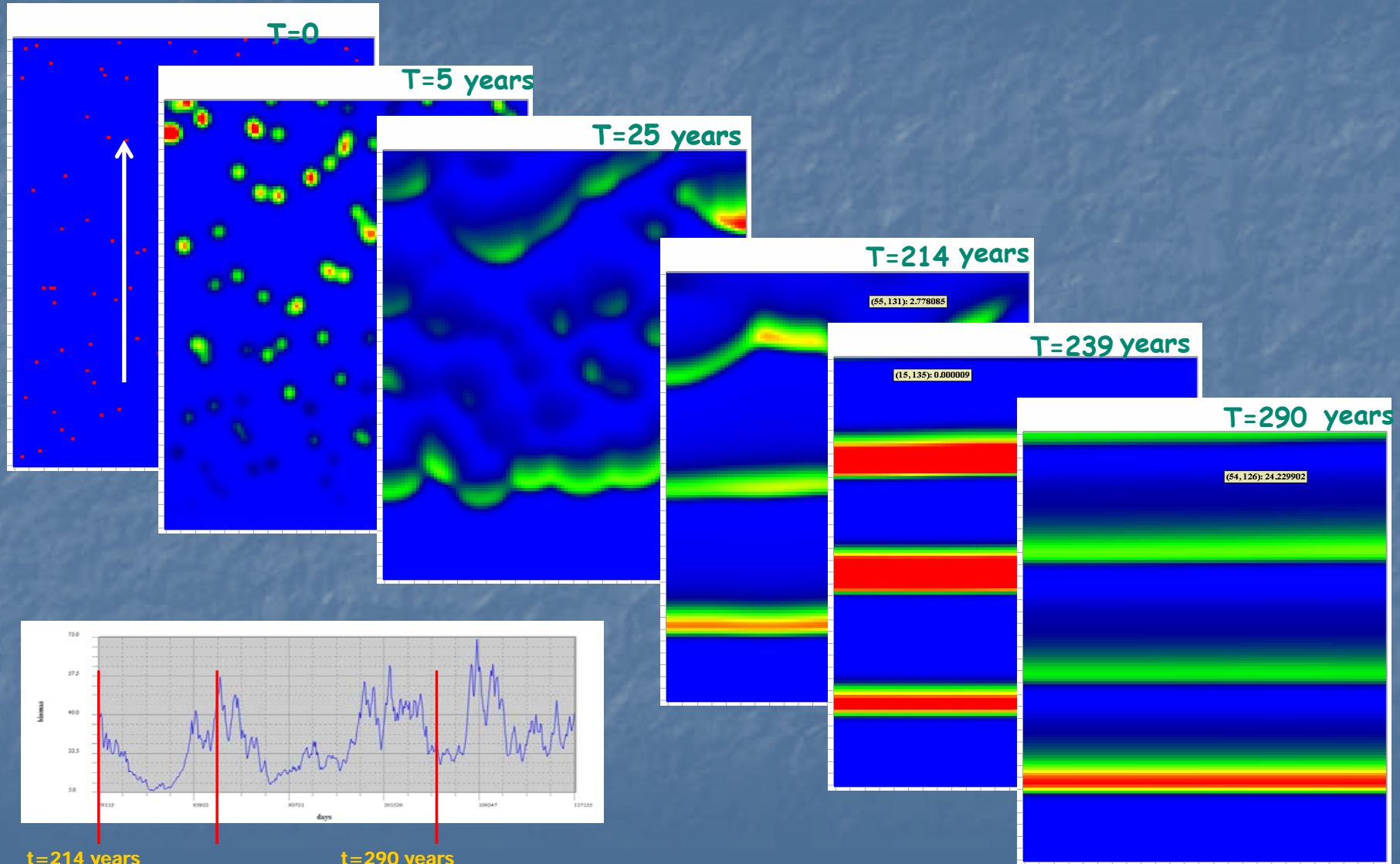
diferente conectividad final "dinámica"

Resumen

- Desarrollo de un modelo eco-geomorfológico que acopla un módulo de vegetación dinámica a un módulo de evolución de topografía existente (Siberia).
- El modelo se utilizó para estudiar la interacción de patrones de vegetación, y los procesos hidrológicos y erosivos en laderas áridas y semiáridas.
- El modelo reproduce patrones de vegetación observados:
 - Vegetación en bandas móviles
 - Vegetación en bandas estacionarias
 - “Rayas” dinámicas de vegetación alineadas con la dirección del flujo
- El modelo es el primero en reproducir la micro-topografía observada en sistemas con patrones de veg. de bandas (en Australia).
- Los patrones de vegetación resultantes dependen fuertemente de los mecanismos de transporte dominantes:
 - erosión fluvial dominante (Rayas de veg. alineadas con la dirección del flujo)
 - procesos difusivos dominantes (patrones de bandas).

Auto organización de arbustos, precipitación diaria de "Broken Hill" (ladera de 150mx200m).

Caso: erodibilidad baja, suelo profundo uniforme.



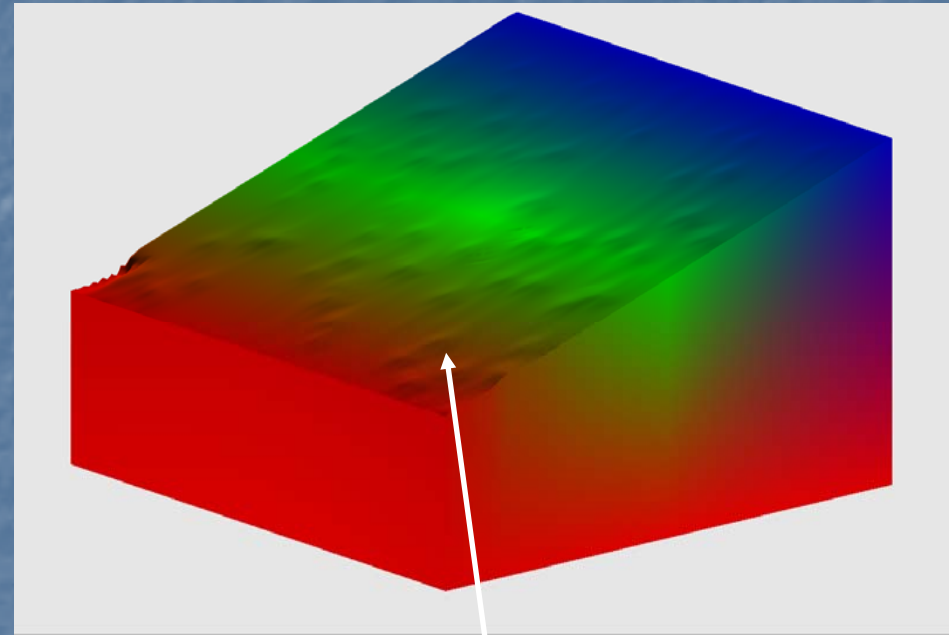
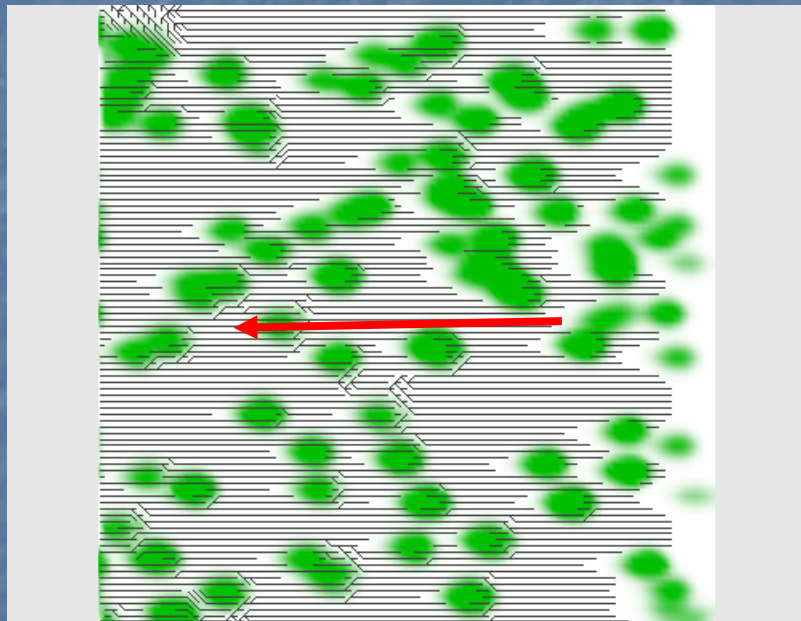
t=214 years

t=239 years

t=290 years

Simulaciones correspondientes a una ladera de
200mx200m (arbustos leñosos)

Topografía inicial
plana

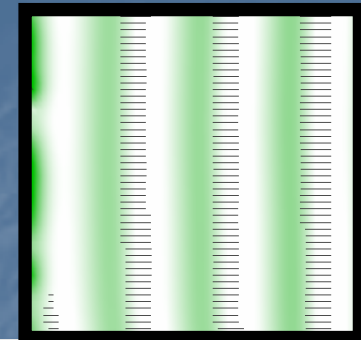


Formación inicial de montículos

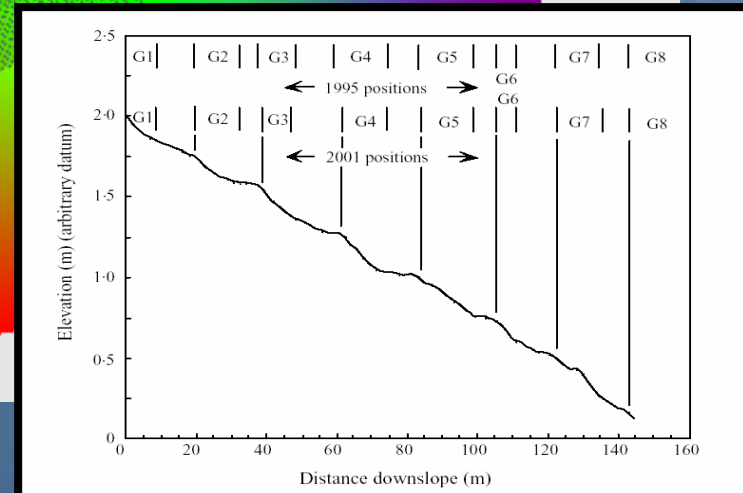
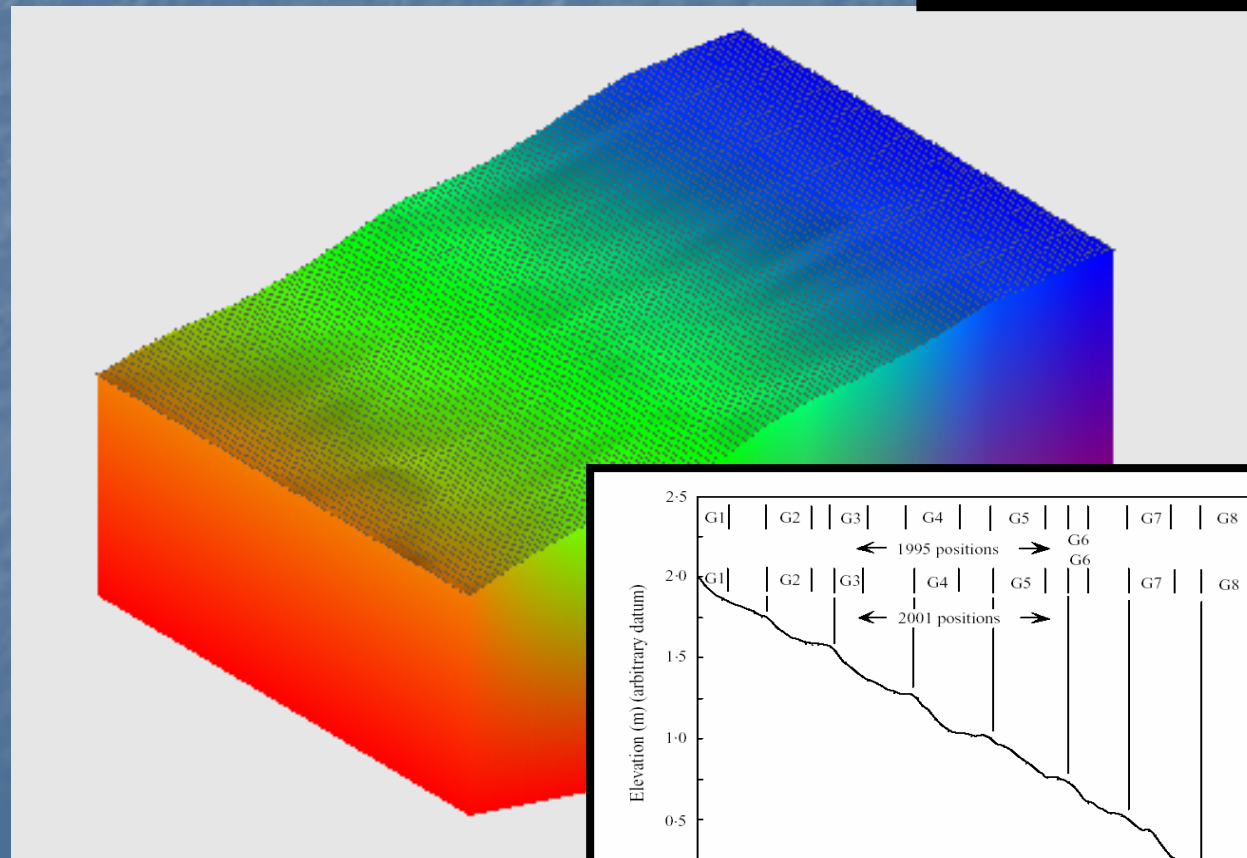
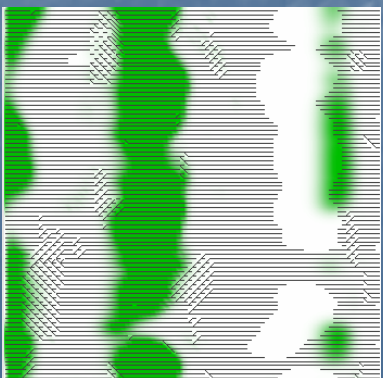
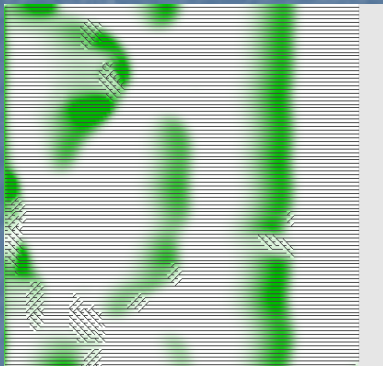
Ladera de 200mx200m

Precip. Constante

Topografía Inicial Plana,
Pendiente Pequeña



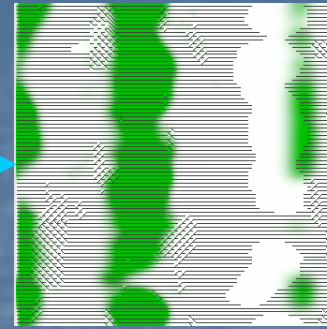
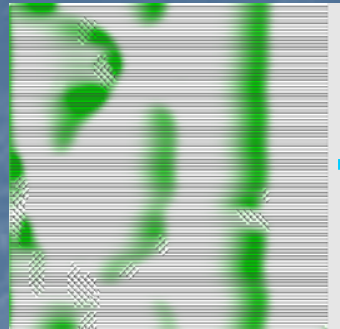
Precip. Variable



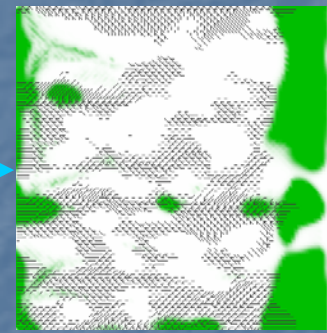
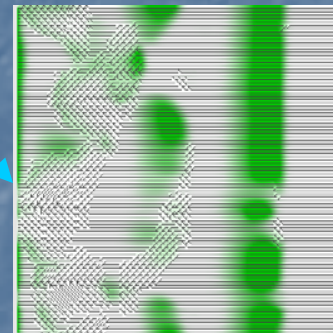
Bandas de vegetación en la transecta de Menindee, NSW (arbustos chenopod): Dunkerley & Brown (2002)

Simulaciones correspondientes a la ladera de 200mx200m
(misma precipitación, misma vegetación inicial, misma erodibilidad del Suelo,
pendiente variable)

Topografía Inicial Plana

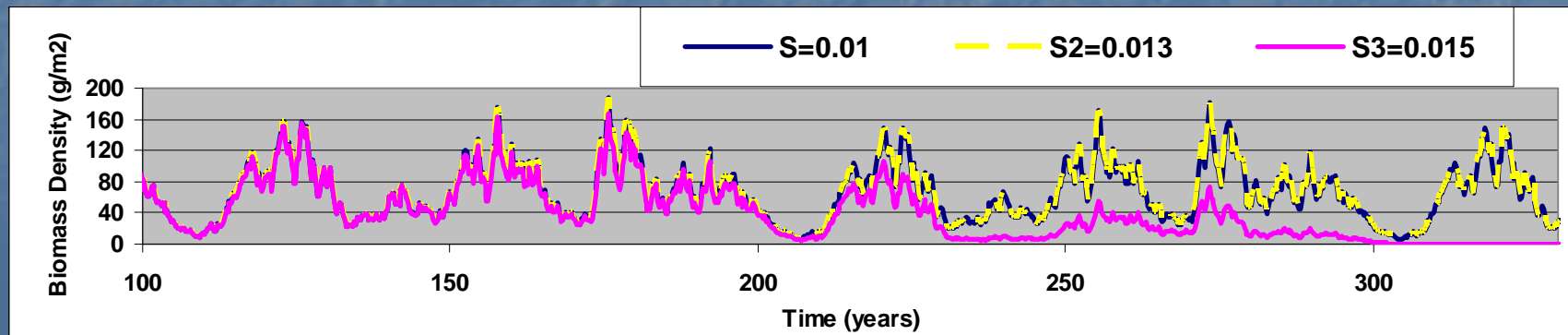


Pendiente Pequeña (S2)



Pendiente Alta (S3)

Densidad de Biomasa Media :





Preguntas?