



IX Escuela Latinoamericana de Física de Suelos

Cuenca, República de Ecuador, 1 al 9 de octubre del 2007

CIDIAT

“Física de Suelos y el Manejo de la Tierra y el Agua en Zonas de Ladera”

“UN SISTEMA PARA SELECCIONAR PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN LADERAS DE LOS ANDES VENEZOLANOS”

Fernando Delgado E.
CIDIAT, Universidad de Los Andes
Mérida, VENEZUELA







Paisajes agrícolas en los Andes Tropicales



Cuenca alta del Río Chama, Andes Venezolanos



Valle Sagrado, Andes Peruanos



Volcán Pululahua, Andes Ecuatorianos



Boyacá, Andes Colombianos





**La planificación del uso de la tierra
es la base de la conservación de
suelos**



Antecedentes



REPUBLICA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRIA

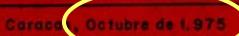
Plan de trabajo Coordinado para el
año 1976, entre el Ministerio de Agro
cultura y Cria, y la Gobernación del
ESTADO TRUJILLO

PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DEL RIO MOTATAN

DIRECCION
DE
CONSERVACION

Dirección General De
Recursos Naturales Renovables

Caracas, Octubre de 1.975



Ministerio del Ambiente
y de los Recursos
Naturales Renovables

INSTRUCTIVO PARA DIAGNOSTICO CONSERVACIONISTA -FASE I- (Sujeto a Revisión)

Caracas, Noviembre 77
Serie: Informes Técnicos DGI/IT/1

CARACAS: SEPTIEMBRE 1981
SERIE: PLANES DOT/1927/02

Ministerio del Ambiente
y de los Recursos
Naturales Renovables



PLAN DE MANEJO CONSERVACIONISTA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SANTO DOMINGO

AGUAS ARRIBA
DE LA
RESA GRAL: JOSE ANTONIO PAEZ

Sistema de Clasificación de Tierras para Laderas Tropicales (T. C. Sheng, 1972)

Profundidad del suelo (cm)	Pendiente del terreno (%)					
	< 12	12-25	25-35	35-50	50-60	> 60
< 20	C ₁ /P	P	P	P	F	F
20-50	C ₁	C ₂ /P	C ₃ /P	P	F	F
50-90	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄ /P	AF/F	F
> 90	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	AF	F

1. Cultivos anuales:

C₁ y C₂: tierras cultivables mecanizadas, con prácticas de conservación ligeras a moderadas

C₃ y C₄: tierras cultivables a mano o tracción animal, con prácticas de conservación intensivas a muy intensivas.

2. Cultivos perennes:

P: pastizales manejados; AF :árboles frutales; F: protección (bosque o vegetación densa)

Selección de prácticas de conservación de suelos en laderas tropicales

Clase de tierra	Uso de la tierra	Prácticas recomendadas
C ₁ – C ₂	Cultivos de ciclo corto (tierras arables)	sistemas de labranza conservacionista con tracción mecánica, aplicación de fertilizantes, abonos y/o enmiendas, abonos verdes, riego localizado, rotación de cultivos.
C ₃ – C ₄		labranza con tracción animal, siembra en contorno sobre cubierta de residuos, coberturas vivas, rotación de cultivos con barbechos mejorados, acequias de ladera, zanjas de absorción.
P	Cultivos perennes (tierras no arables)	pastizales mejorados, pastoreo controlado, asociación de gramíneas-leguminosas, cercas vivas, senderos para el ganado, cortafuegos.
AF		árboles frutales con coberturas vivas y/o abonos verdes, barreras vegetativas en contorno, cultivos en callejones, fajinas altas, terrazas individuales, muros de piedra.
F		forestación, revegetación natural inducida, sistemas agroforestales. Agricultura solo acompañada de prácticas muy intensivas de conservación (terrazas de banco u otras estructuras complejas).

Profundidad del suelo (cm)

↓

Productividad



Riesgo de erosión

Productividad
del suelo

Clases de tierra

IV

I

III

II



*sistema para la evaluación
y clasificación
de tierras agrícolas
y prioridades de conservación de suelos
en áreas montañosas tropicales*

un enfoque metodológico

Fernando Delgado Espinoza

CIDIAT

CIDIAT

CIDIAT

1997

PRODUCTIVIDAD DEL SUELO



RIESGO DE EROSION



PRODUCTIVIDAD DEL SUELO





Productividad del suelo:

La capacidad que tiene el recurso, en su ambiente natural, para sustentar el crecimiento y desarrollo de las plantas, bajo un sistema específico de manejo.

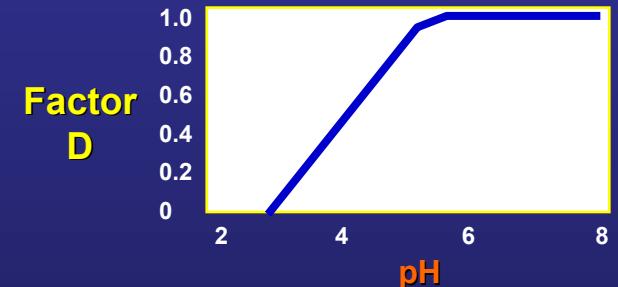
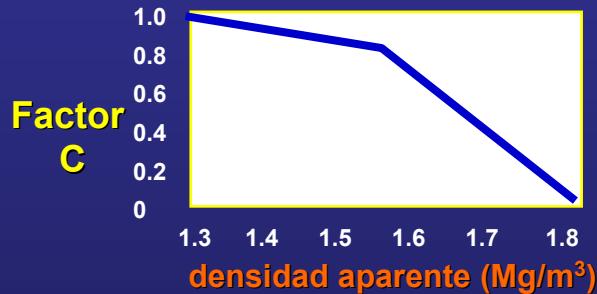
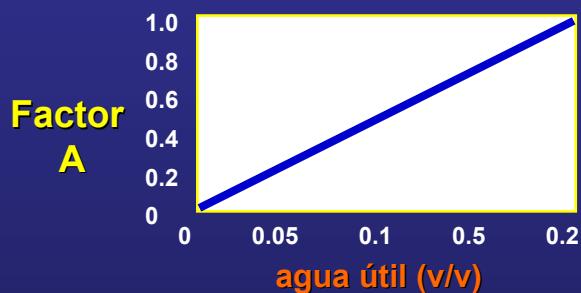
En este sentido, la ***Productividad del Suelo*** es una función de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de los factores climáticos, el manejo y otros factores físicos usados en la producción de cultivos.

El ***rendimiento*** de los cultivos se utiliza comúnmente como una medida de la ***productividad del suelo***.

Indice de Productividad del Suelo

(Pierce et al., 1983)

$$IP = \sum_{i=1}^r (A_i \cdot C_i \cdot D_i \cdot W_i)$$



IP = Indice de productividad del suelo (0-1)

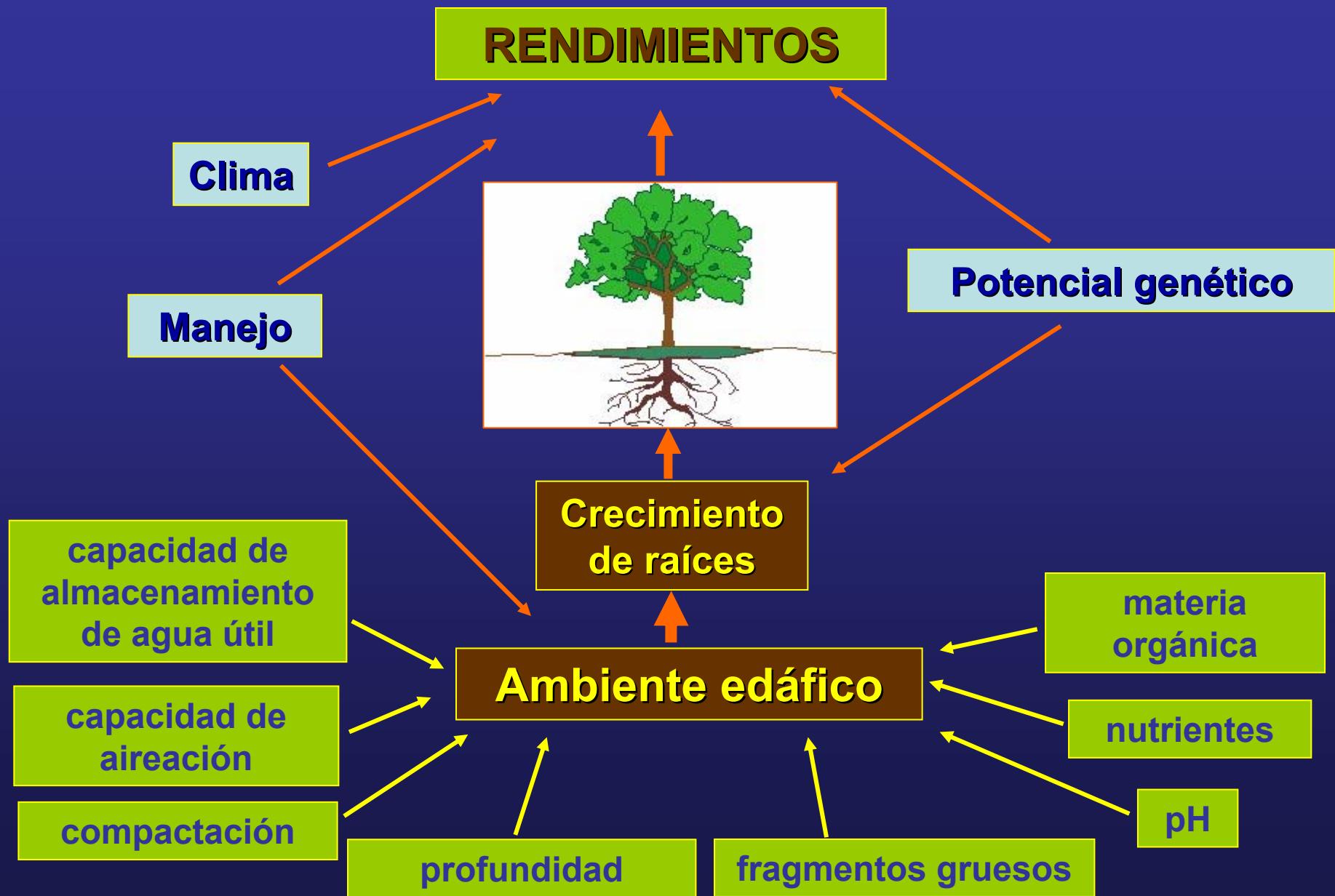
W = factor de ponderación del horizonte *i*

r = numero de horizontes (*i*) en la profundidad de enraizamiento

Indice de Productividad (IP)

Es una medida indirecta de la **productividad del suelo** basada en la premisa de que el rendimiento de los cultivos es una función de su **capacidad para desarrollar raíces**, lo que a su vez está controlado por el ambiente edáfico.

Base conceptual del índice de productividad del suelo (IP)
(Pierce et al, 1983)



Cada factor del índice se evalúa en términos de su impacto sobre el *crecimiento potencial* de raíces en los distintos horizontes del suelo.

Los impactos de cada factor de suelo sobre el crecimiento potencial se normalizan en una escala de 0-1, correspondiendo el **valor 1** a la condición que mejor favorece el desarrollo de raíces.

-Un Índice de Productividad del Suelo (IP) para tierras de ladera en los Andes Venezolanos-
(Delgado, 1997)

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

IP = INDICE DE PRODUCTIVIDAD DEL SUELO
varía de 0 (no productividad) a 1 (muy alta productividad)

Factor A

Evalua las condiciones que regulan las *relaciones agua-aire* del horizonte (0-1)

Factor B

Evalua las condiciones que determinan las *resistencias mecánicas (impedancias)* al crecimiento de raíces en el horizonte del suelo (0-1)

Factor C

Evalua las condiciones que regulan la *fertilidad potential* del horizonte (0-1)

Factor K

Evalua conjuntamente la *profundidad efectiva del suelo* y la importancia relativa del horizonte *i* en el perfil del suelo (*factor de ponderación*)

Cada factor del índice está compuesto por dos *subfactores específicos*, mutuamente excluyentes

La selección del *subfactor específico* en cada caso depende de las condiciones locales, generalmente del *clima local*, de manera que la *interacción entre los suelos y el clima es una consideración básica.*

Tipos climáticos considerados

- HUMEDO: $P/ETP > 2.00$



- SECO: $P/ETP < 0.50$



- SUB-HUMEDO a SECO: $0.50 \leq P/ETP \leq 2.00$



P = precipitación promedio anual (mm)

ETP = evapotranspiración promedio anual (mm)

Evaluación de los factores del Indice de Productividad del Suelo (IP)

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

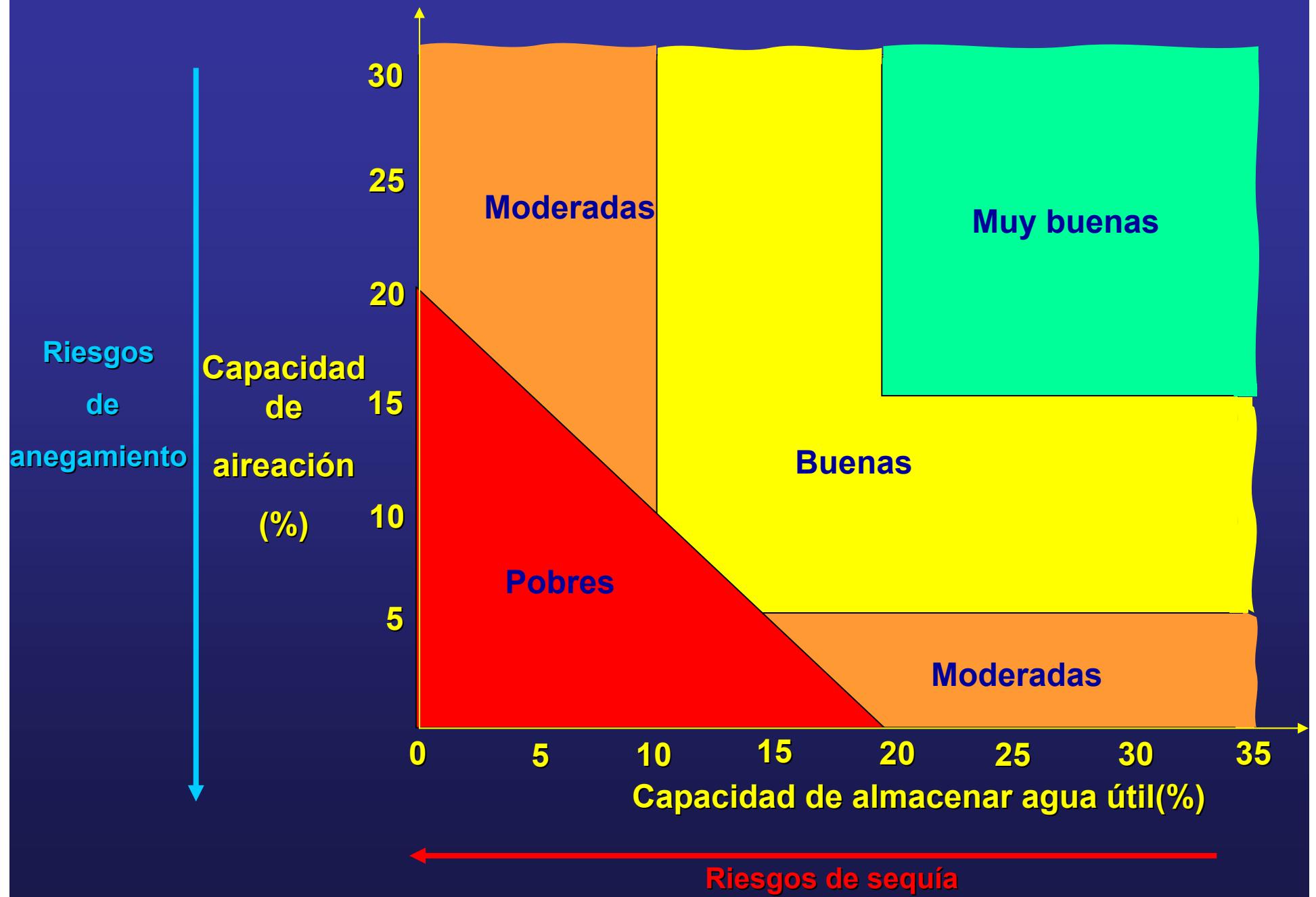
Factor A

Evalua las *relaciones agua-aire* en los diferentes horizontes del suelo

El factor A se cuantifica a través de los siguientes sub-factores:

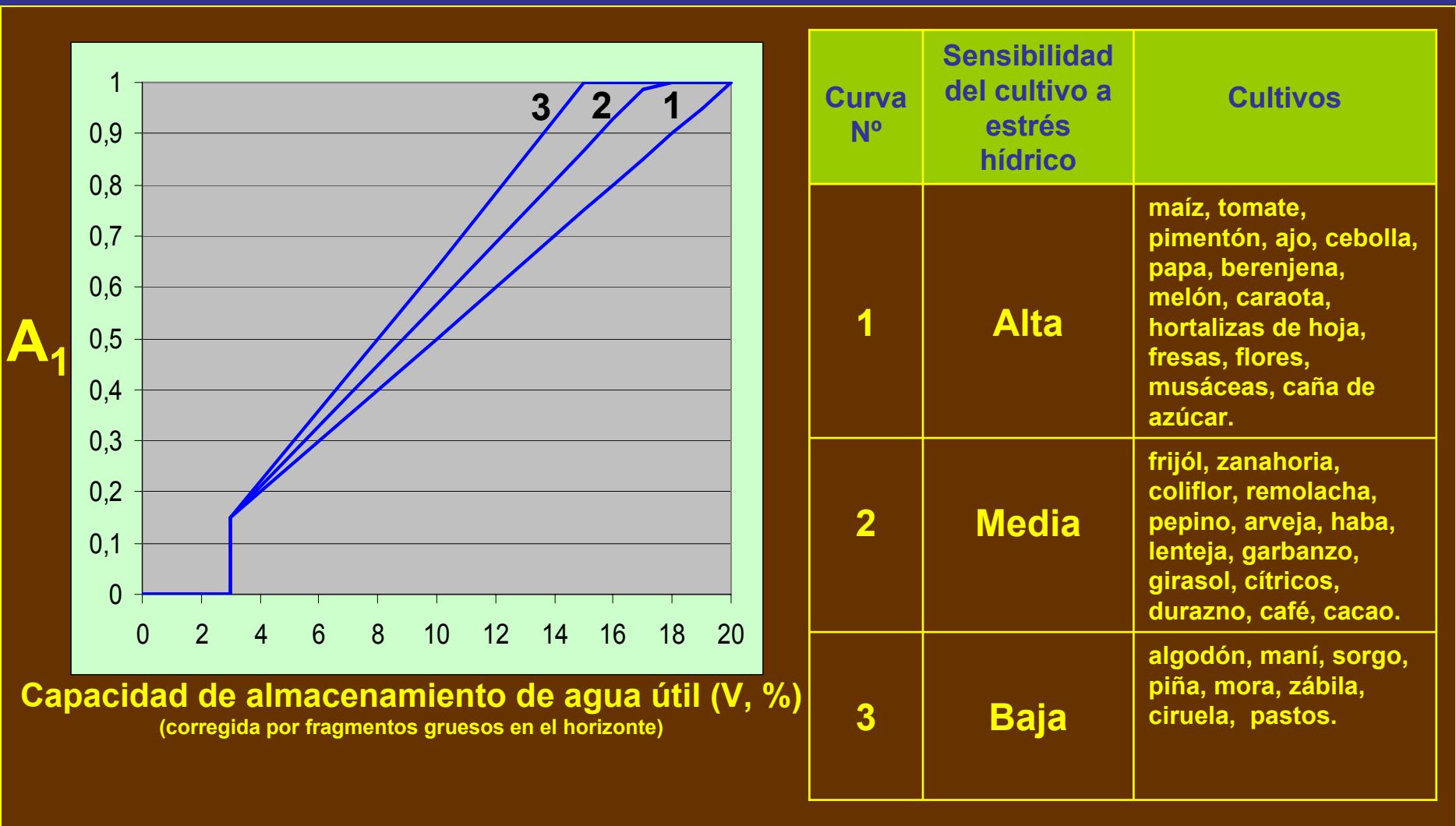
- ✓ Sub-factor A₁: Capacidad de almacenamiento de agua útil

- ✓ Sub-factor A₂: Capacidad de aireación del suelo

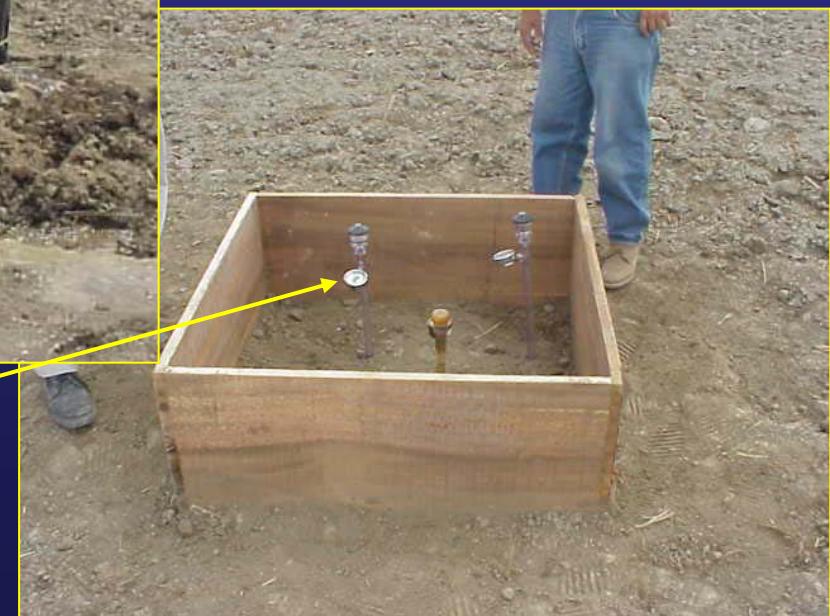
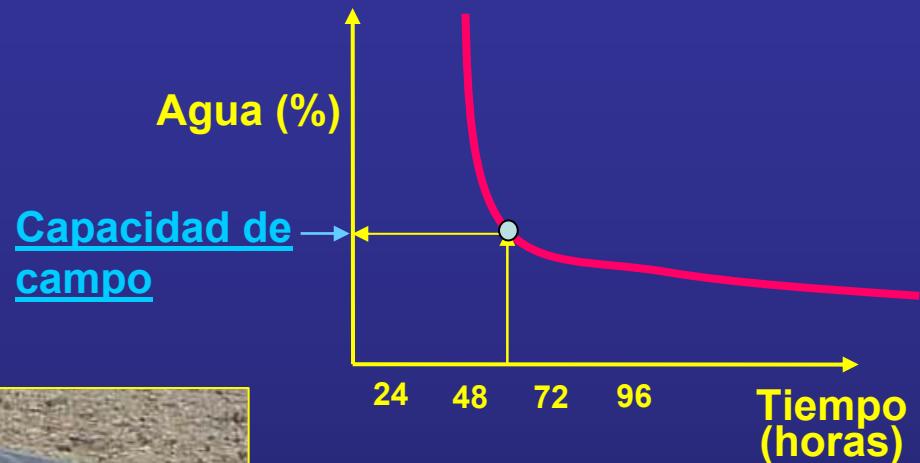


Sub-factor A₁

Capacidad de almacenamiento de agua útil



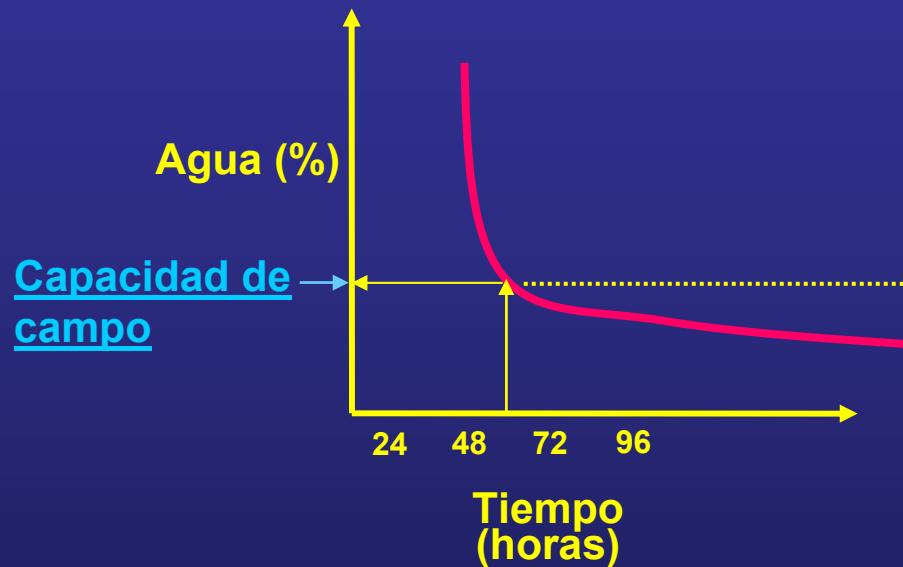
Medición de Capacidad de Campo



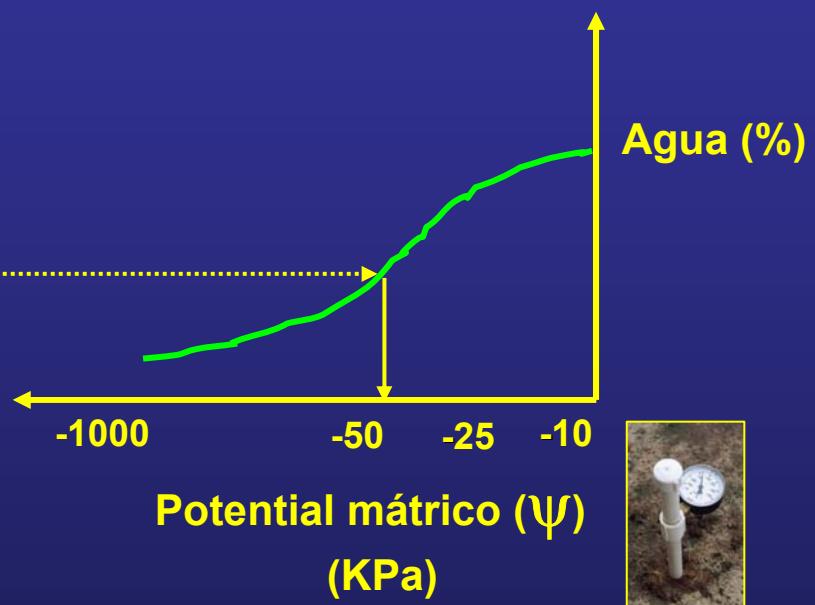
tensiómetros

Curva característica y capacidad de campo

Capacidad de campo:



Curva característica:



Texturas	Potencial mátrico a <i>Capacidad de Campo</i> en suelos de los Andes Venezolanos (KPa)			
	rango de variación	promedio	(CV, %)	Valor adoptado
Finas	(- 65) a (- 42)	- 48	(18.25)	- 50
Medias	(- 40) a (- 26)	- 28	(16.34)	- 30
Gruesas	(- 23) a (- 10)	- 13	(12.11)	- 15

CAPACIDAD DE ALMACENAMINTO DE AGUA UTIL

=

agua retenida a “capacidad de campo”

-

agua retenida a punto de “marchitamiento permanente”

- 50 KPa (texturas finas)
- 30 KPa (texturas medias)
- 15 KPa (texturas gruesas)

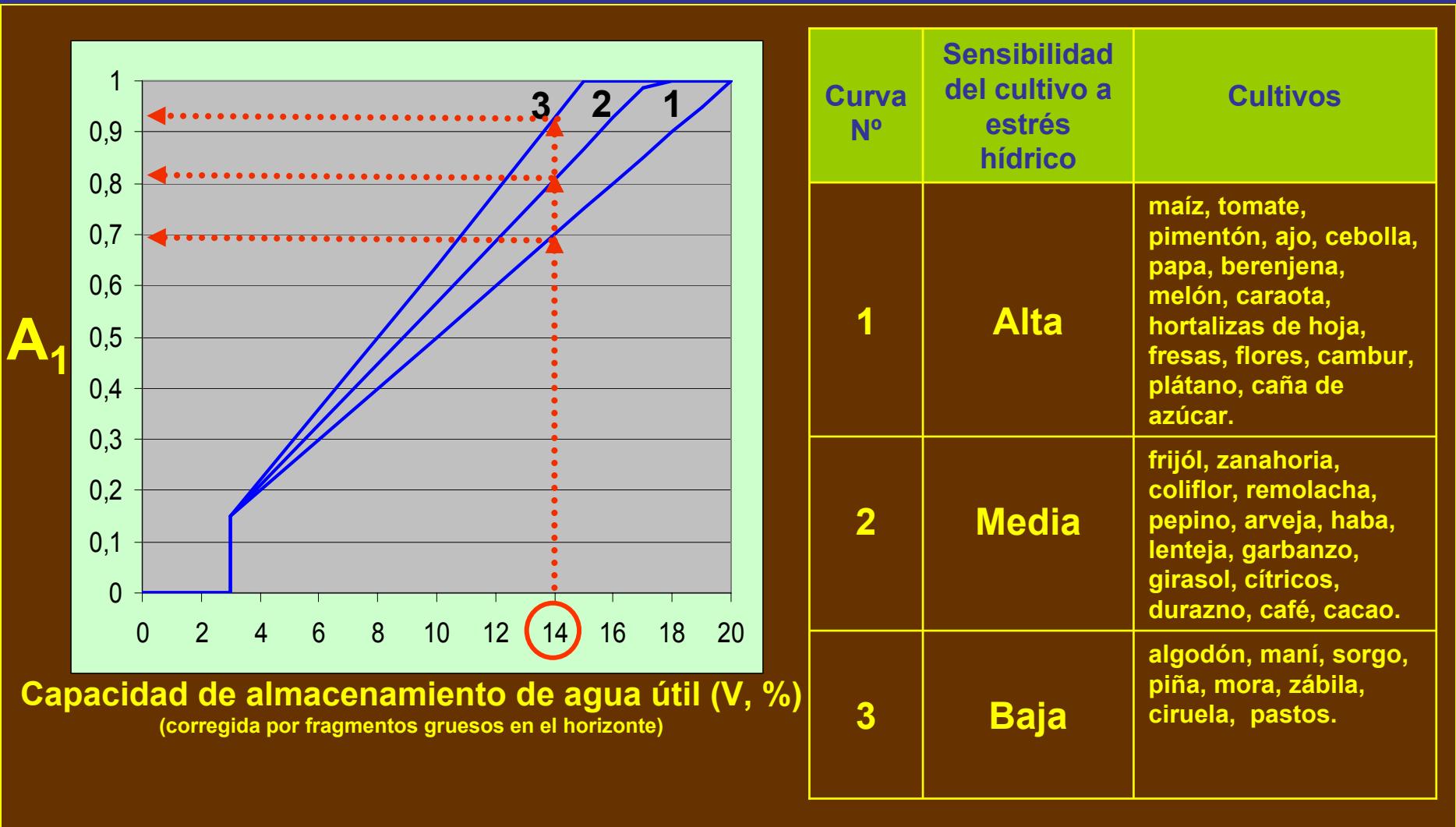
-1500 kPa



(Método indirecto de Richards,
usando muestras *no disturbadas*)

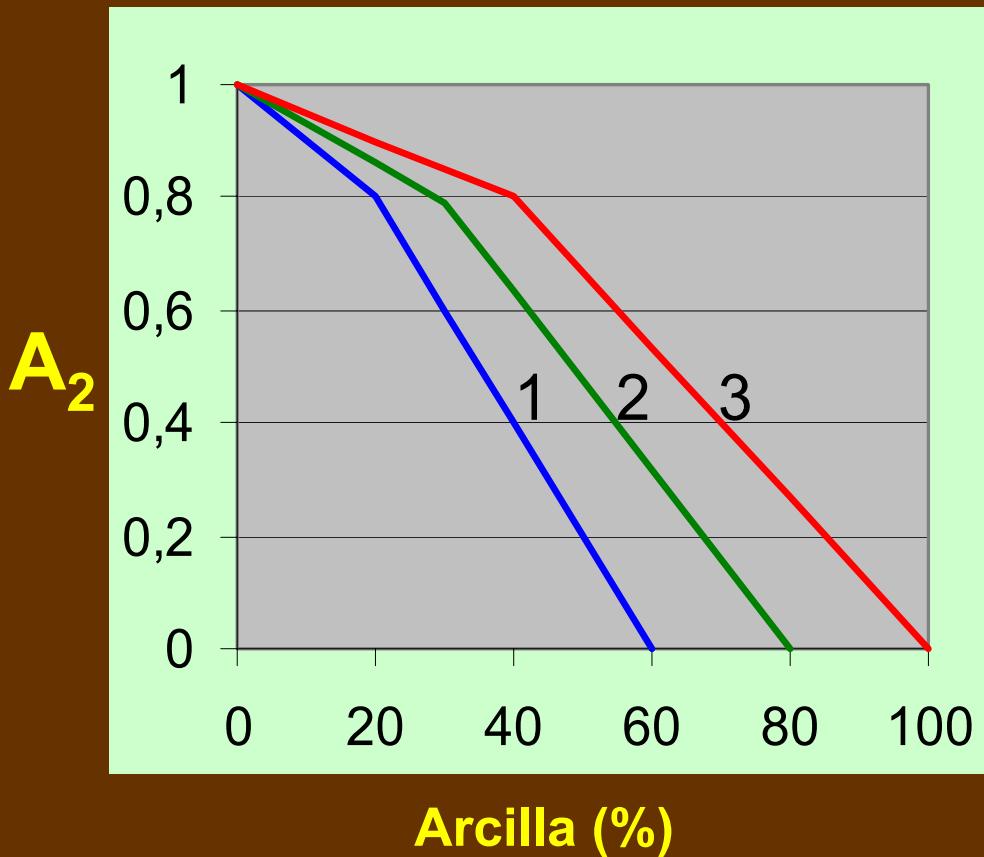
Sub-factor A₁

Capacidad de almacenamiento de agua útil



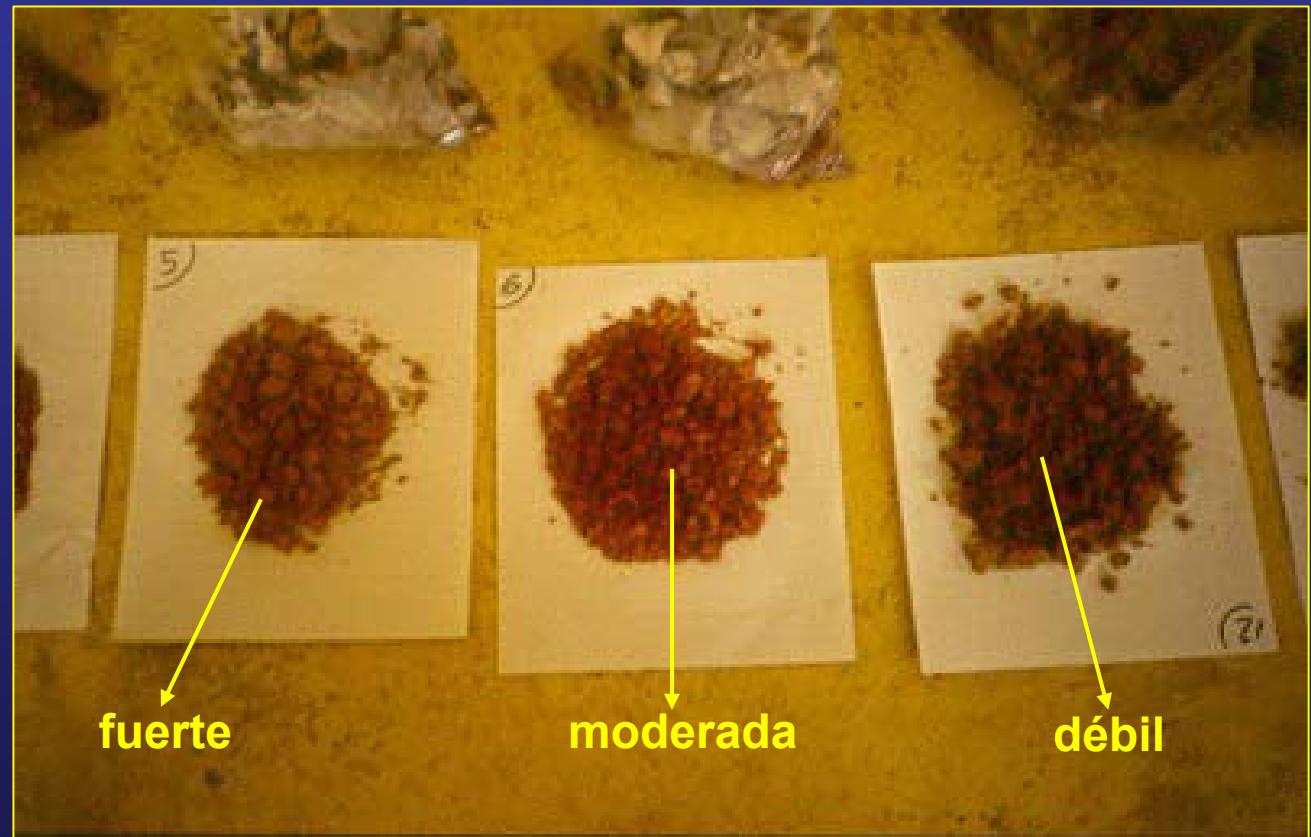
Sub-factor A₂

Capacidad de aireación del suelo



Curva N°	Grado de desarrollo de la estructura del suelo
1	Débil
2	Moderada
3	Fuerte

Grado de desarrollo de la estructura del suelo (apreciación cualitativa)

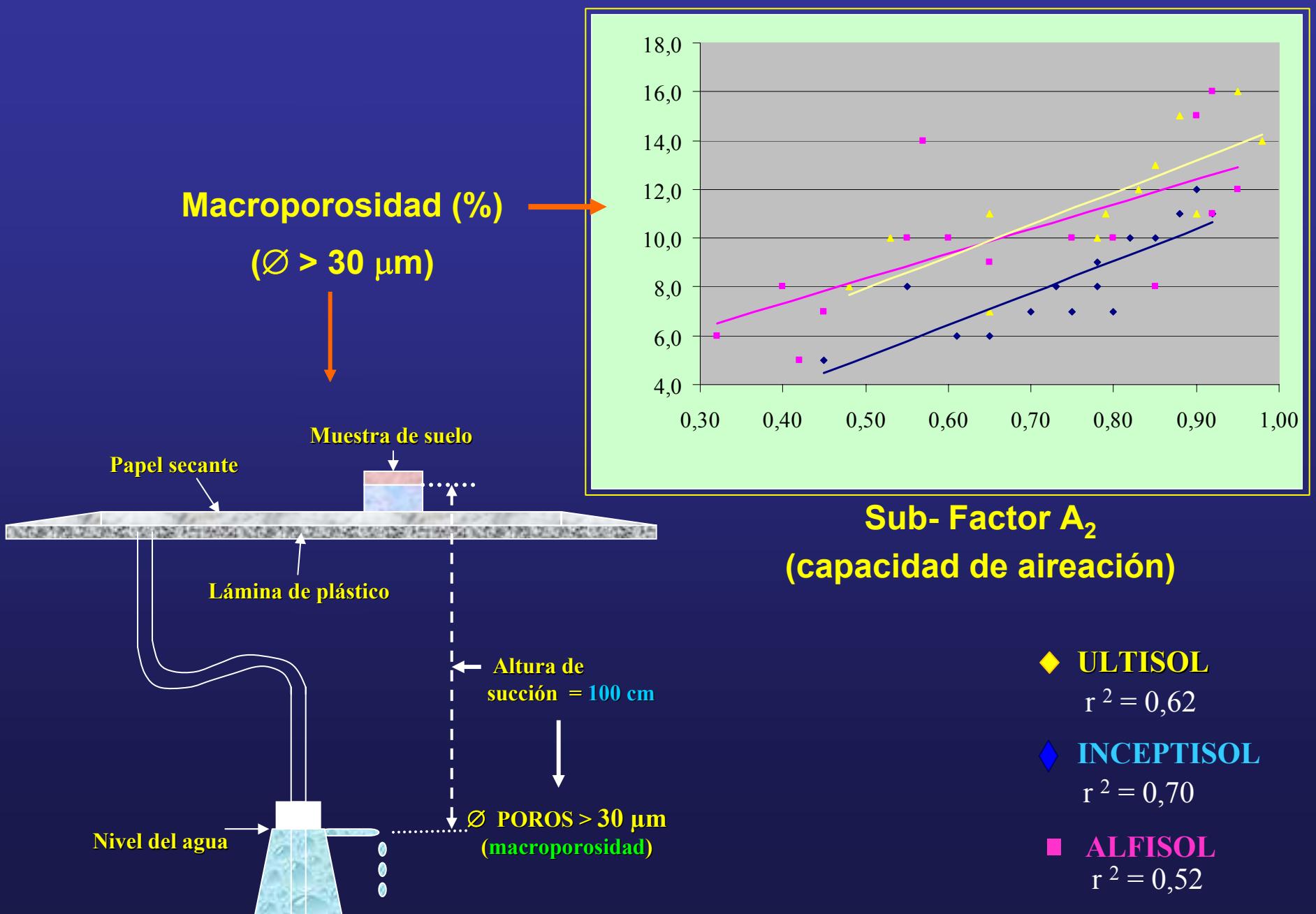


fuerte

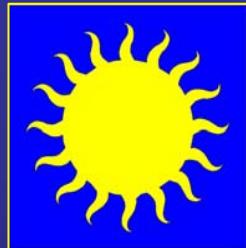
moderada

débil

Validación del sub-factor A₂



El Factor A se evalúa en interacción con el clima, de la manera siguiente:



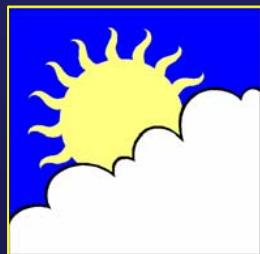
* En clima seco ($P/ETP < 0.50$):

$A = A_1$ (capacidad de retener agua)



* En clima húmedo ($P/ETP > 2.00$):

$A = A_2$ (capacidad de aireación)



* En clima subhúmedo - seco ($0.50 \leq P/ETP \leq 2.00$):

$A = \text{valor más limitante (menor valor numérico entre } A_1 \text{ y } A_2\text{)}$

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

Factor B

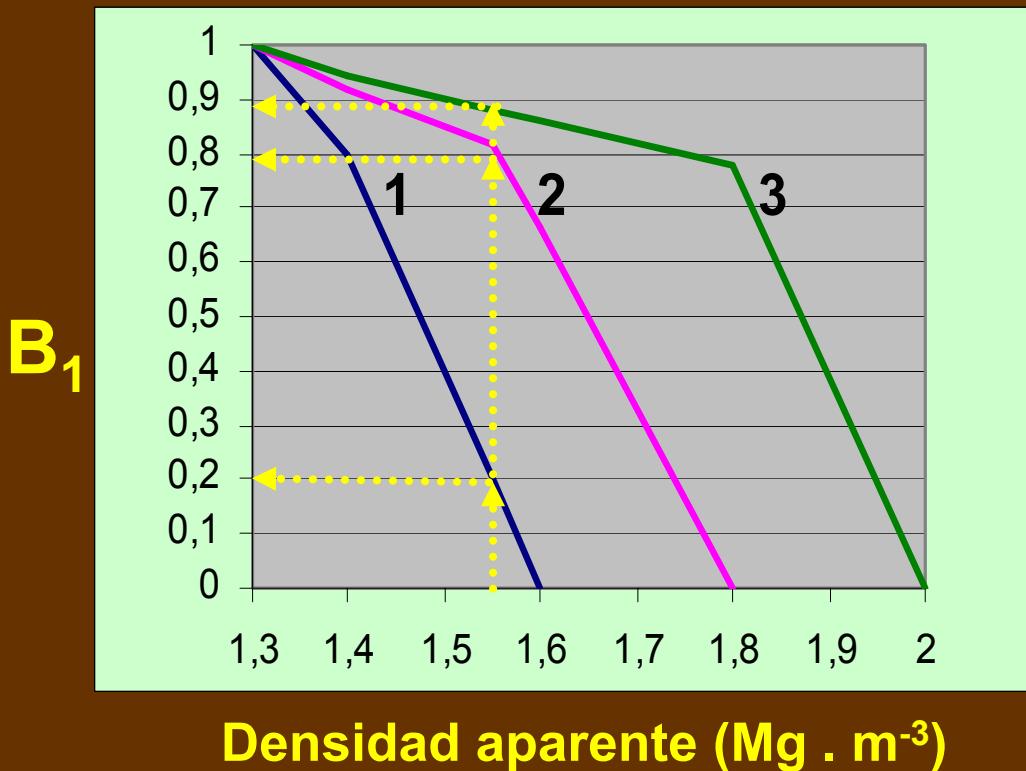
Evalua la calidad **resistencias mecánicas (impedancias)** a la exploración de raíces en el horizonte del suelo.

El Factor B se cuantifica a través de los siguientes sub-factores:

- ✓ Sub-factor B₁: Compactación del suelo
- ✓ Sub-factor B₂: Contenido de fragmentos gruesos

Sub-factor B_1

Compactación del suelo



Curva N°	Texturas
1	Finas
2	Medias
3	Gruesas

Densidad aparente:

**Método de excavación
(para suelo superficial o
para suelos esqueléticos)**



Densidad aparente:

Método de cilindros tipo “*Uhland*”
(para suelos no esqueléticos)



Densidad aparente:

Método del
terrón parafinado

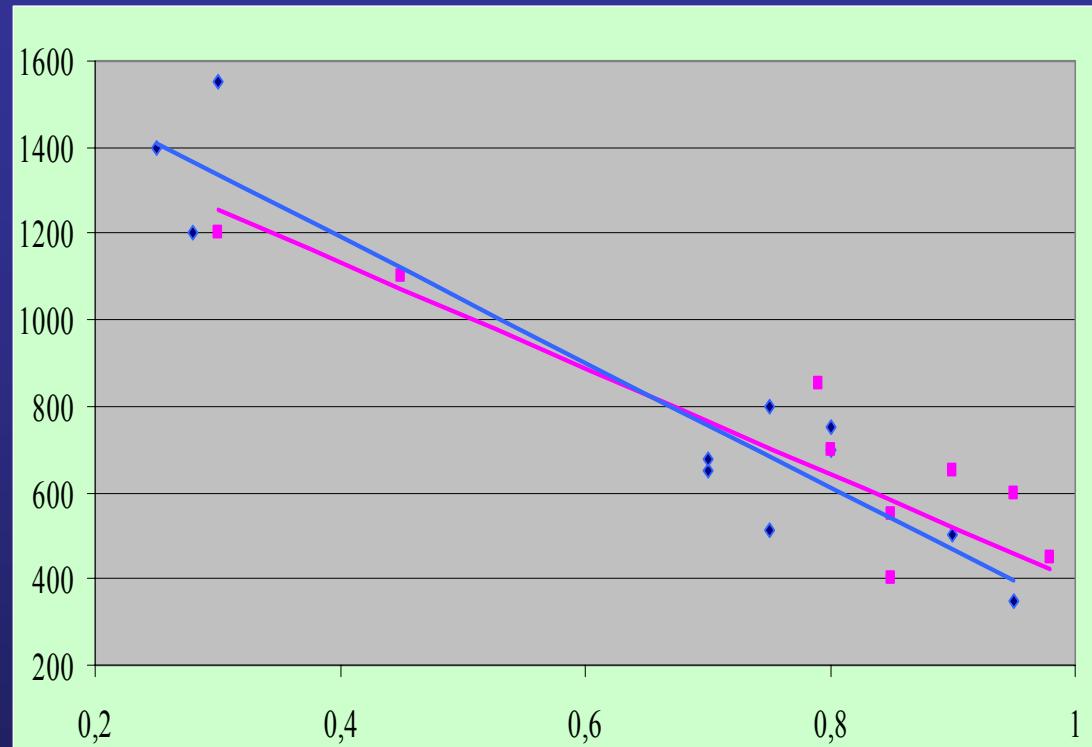


Validación del sub-factor B_1

Resistencia a la penetración,
a Capacidad de Campo
(KPa) →



Penetrógrafo de punta cónica
(para suelos no esqueléticos)



Sub-factor B_1
(Compactación del suelo)

• **ALFISOL**
 $r^2 = 0,88$

▪ **INCEPTISOL**
 $r^2 = 0,84$

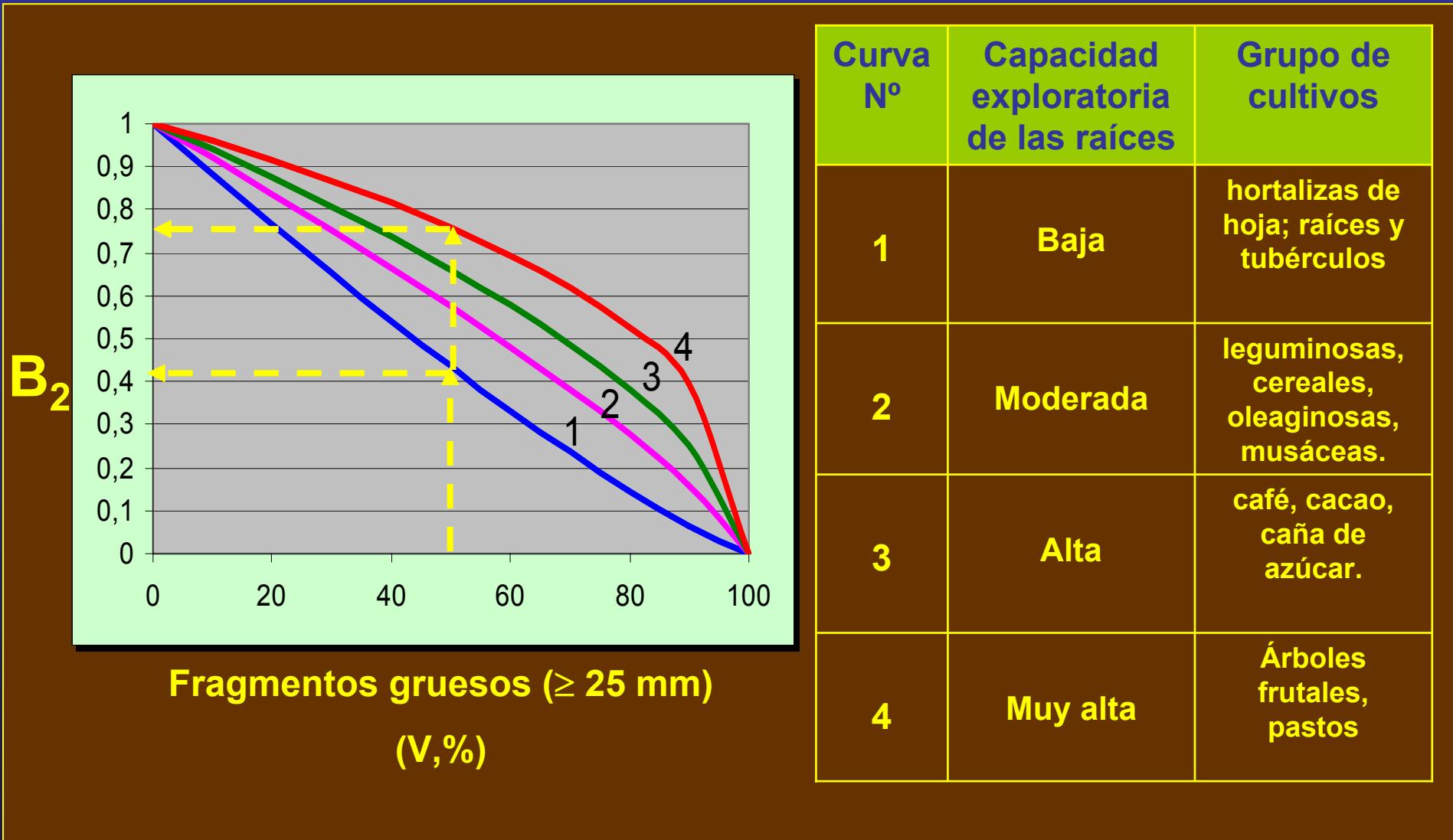
Sub-factor B₂:
Fragmentos gruesos en los horizontes del suelo



(Fragmentos gruesos $\geq 25 \text{ mm } \varnothing$)

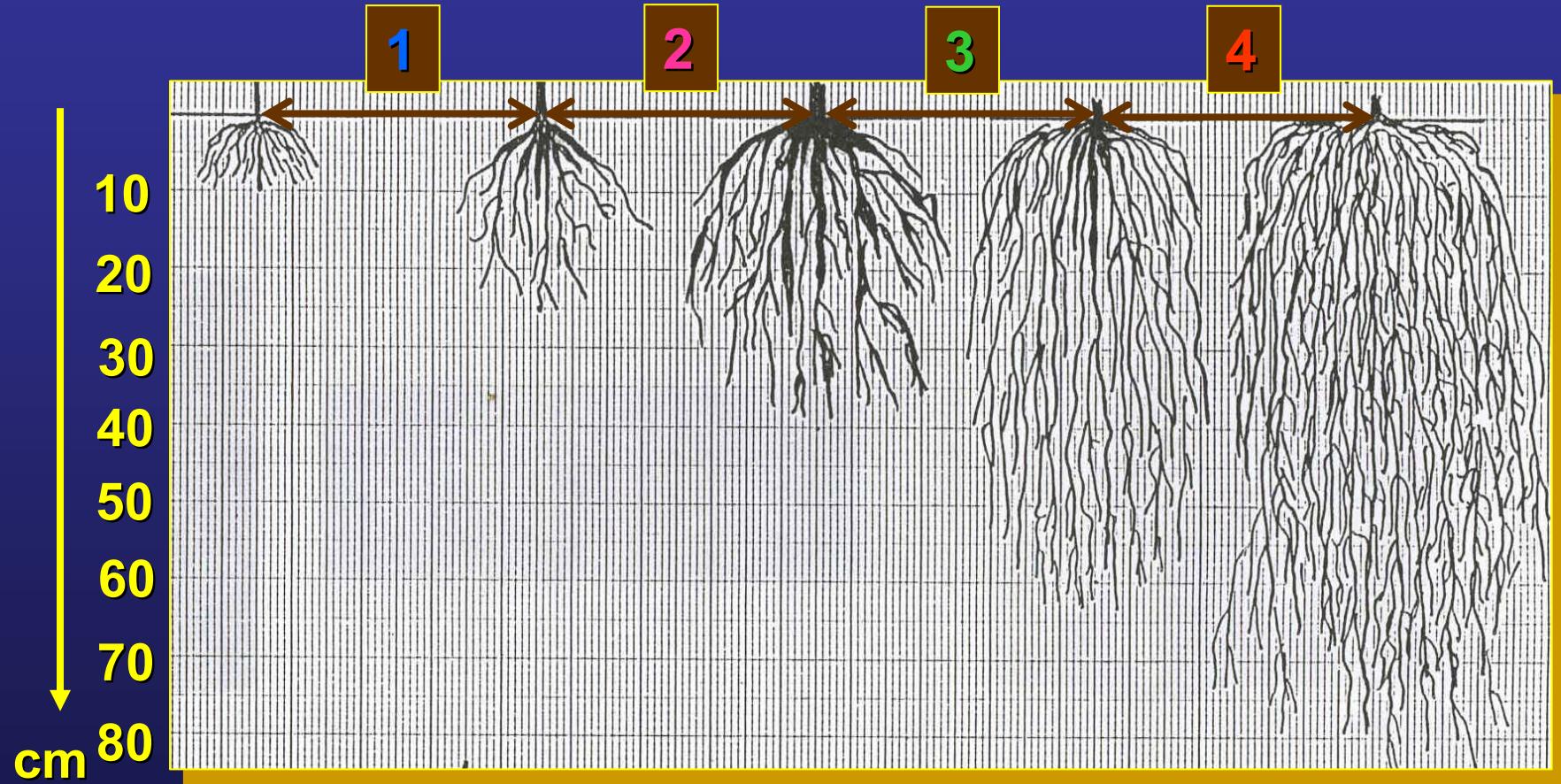
Sub-factor B_2

Fragmentos gruesos



Patrones de capacidad exploratoria de las raíces

Curva N°



El Factor B se evalua de la manera siguiente:

- Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el horizonte del suelo es $\leq 30\%$, entonces:

$$B = B_1 \text{ (densidad aparente)}$$

- Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el suelo es $> 30\%$, entonces:

$$B = B_2 \text{ (fragmentos gruesos)}$$

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

Factor C

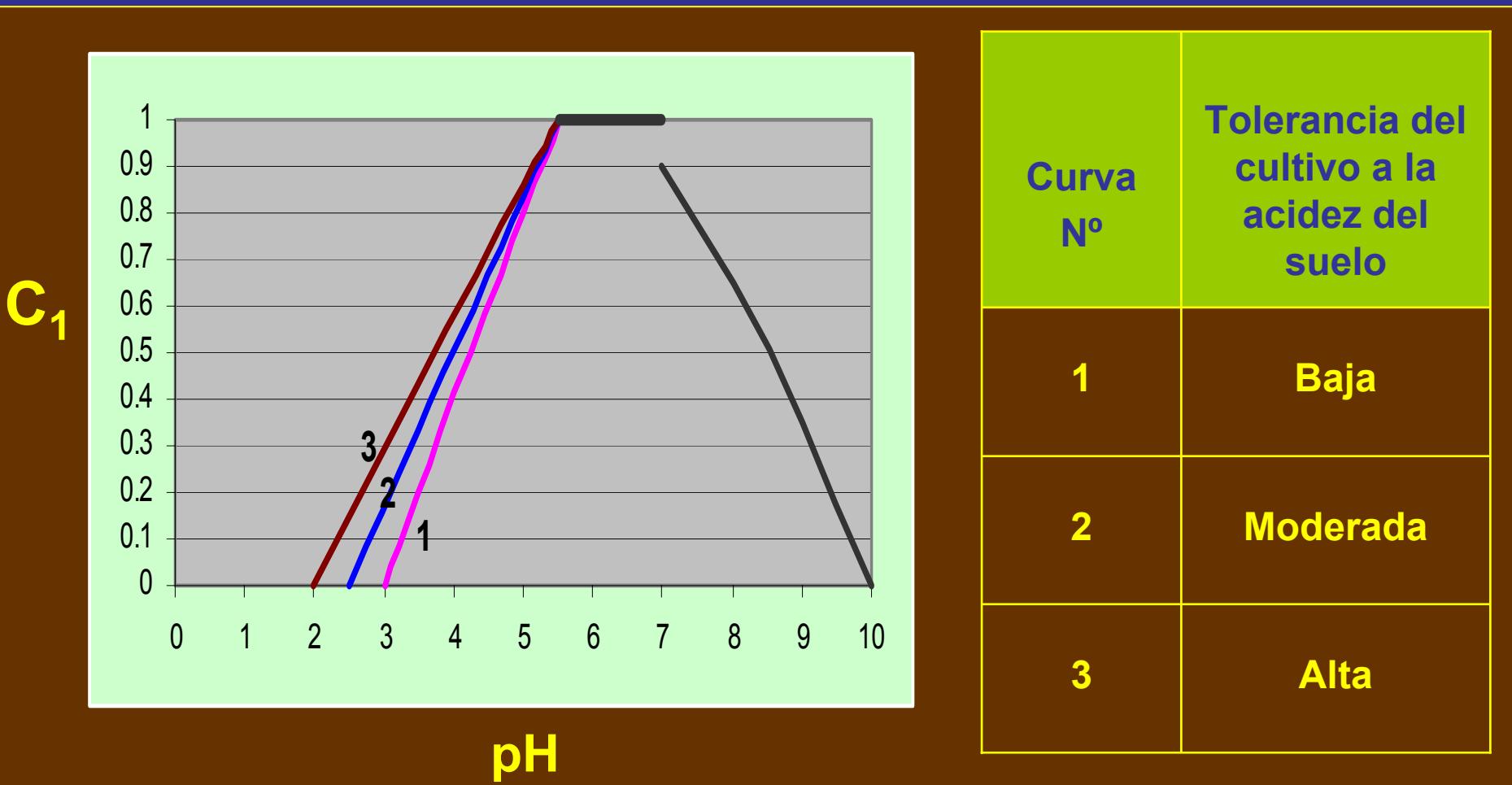
Evalua la calidad *fertilidad potencial* del horizonte del suelo

El Factor C se cuantifica a través de los siguientes sub-factores:

- ✓ Sub-factor C₁: Reacción del suelo (pH)
- ✓ Sub-factor C₂: Contenido de materia orgánica

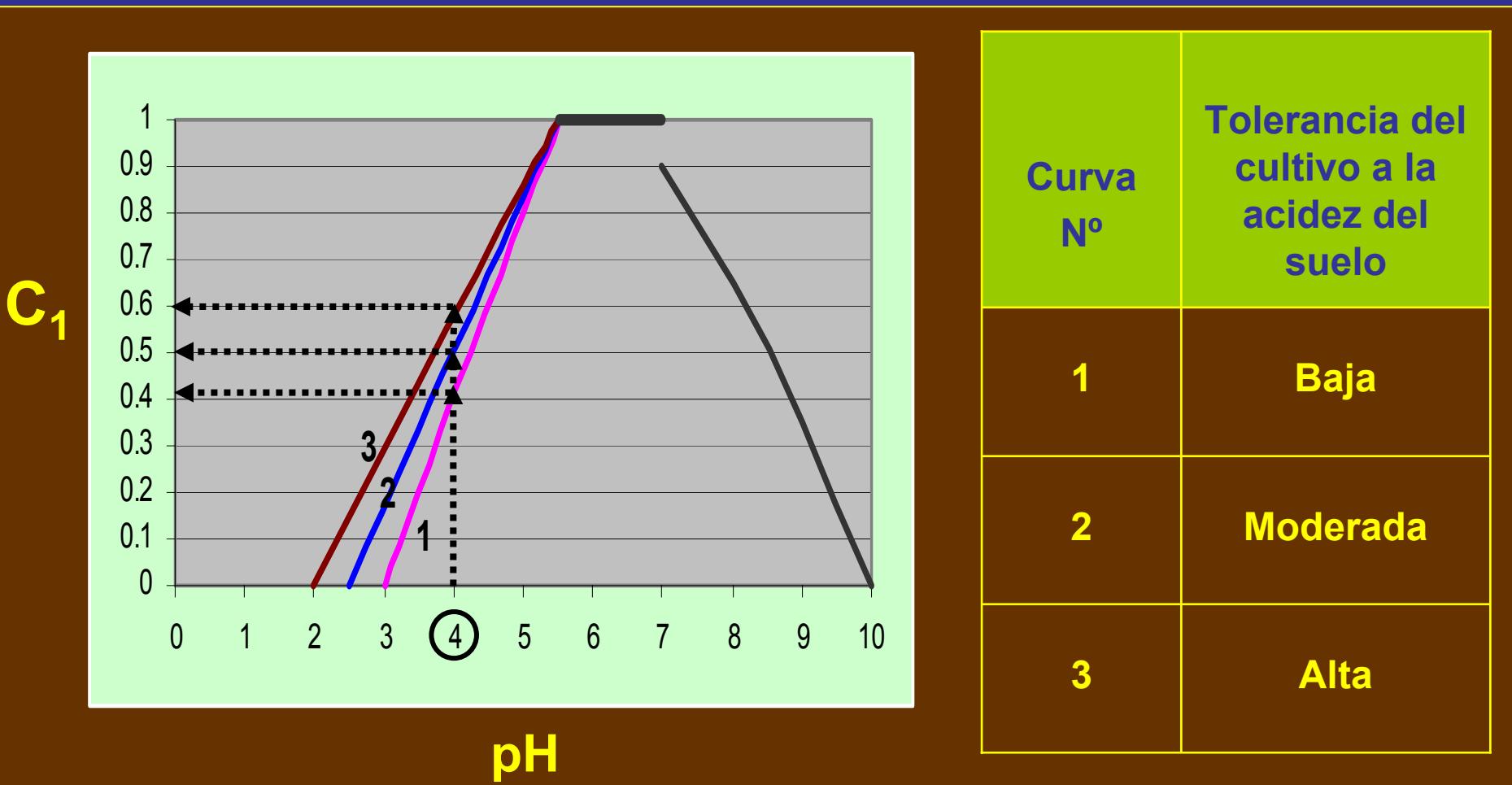
Sub-factor C_1

Reacción del suelo (pH)



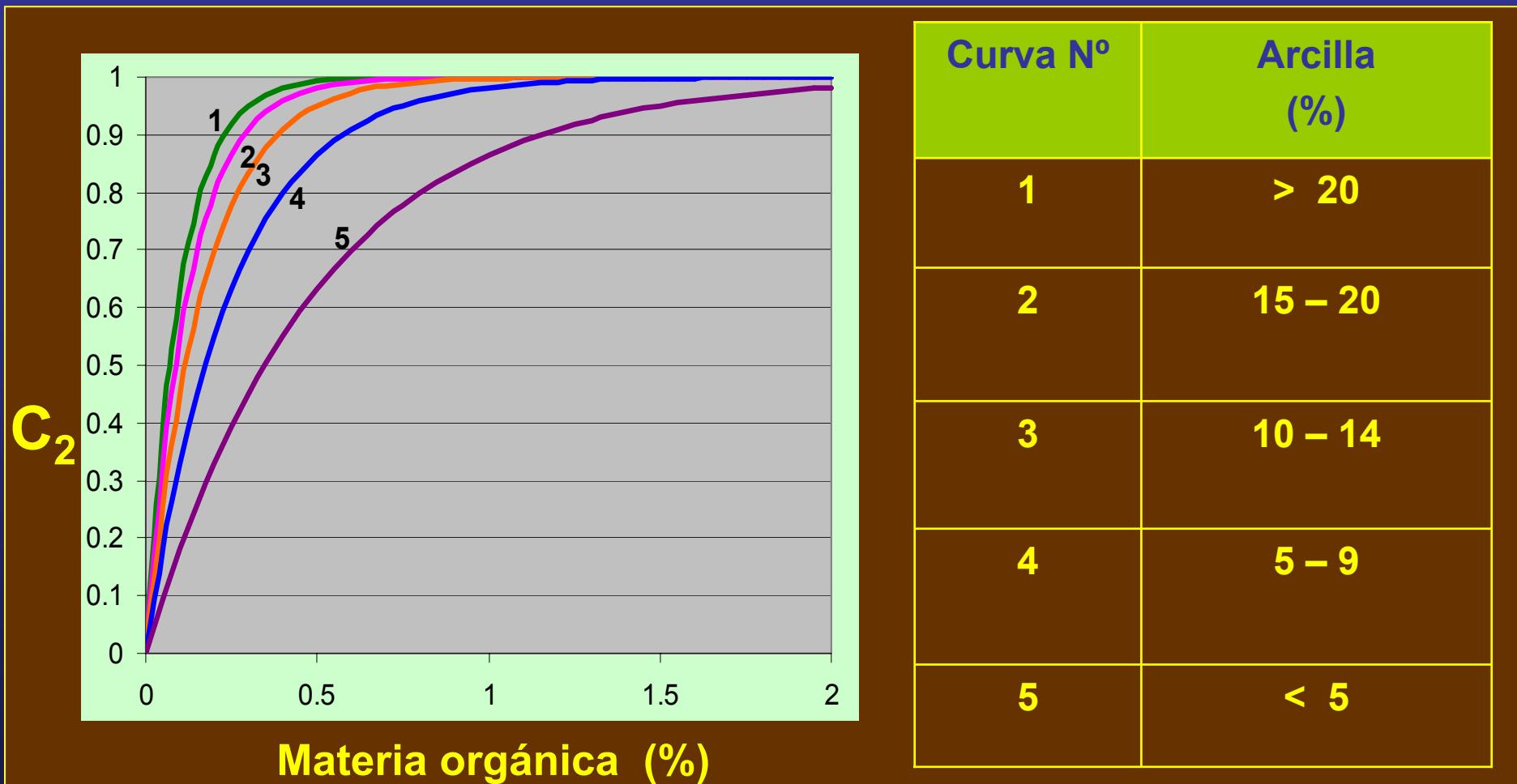
Sub-factor C_1

Reacción del suelo (pH)



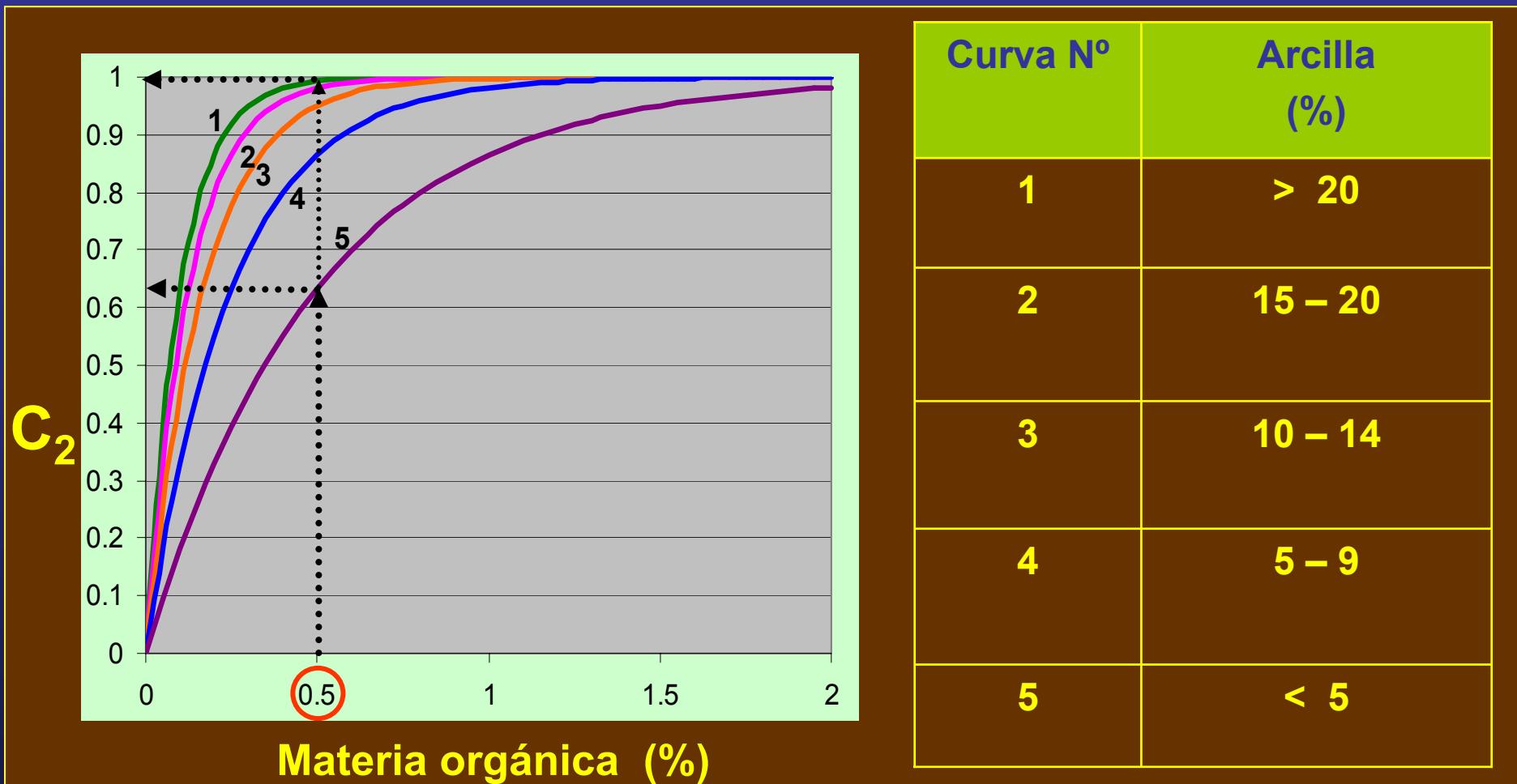
Sub-factor C₂

Contenido de materia orgánica



Sub-factor C₂

Contenido de materia orgánica

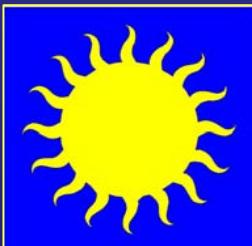


El Factor C se evalúa en interacción con el clima, de la manera siguiente:



- En clima húmedo ($P/ETP > 2.00$):

$$C = C_1 \text{ (pH)}$$



- En clima seco ($P/ETP < 0.50$):

$$C = C_2 \text{ (materia orgánica)}$$



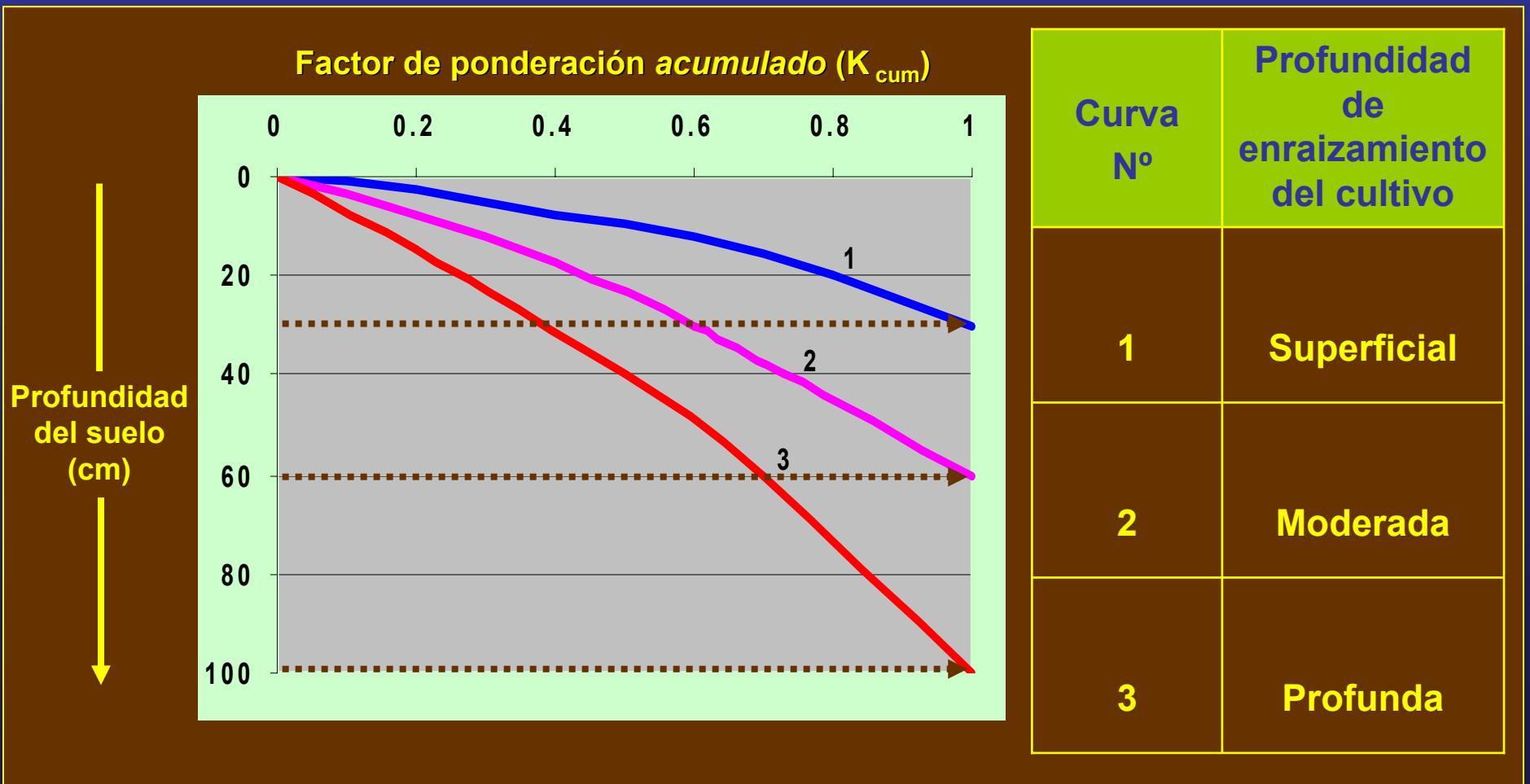
- En clima subhúmedo- seco ($0.50 \leq P/ETP \leq 2.00$):

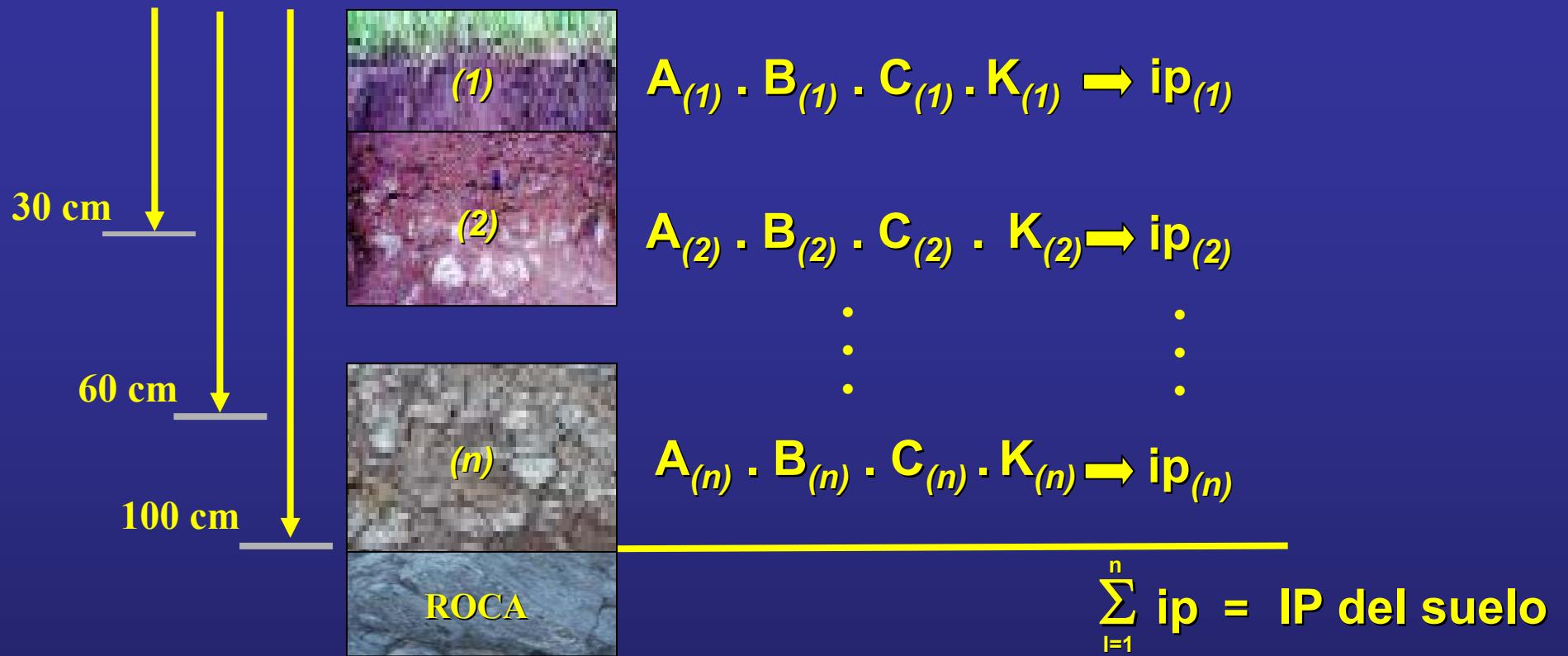
$$C = \text{valor más limitante} \text{ (menor valor numérico entre } C_1 \text{ y } C_2)$$

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

Factor K

Evalua la **profundidad del suelo** y la **importancia relativa del horizonte** en el perfil del suelo (**factor de ponderación**)





IP	Productividad del Suelo
≤ 0.15	Baja
0.16 – 0.35	Moderada
0.36 – 0.60	Alta
> 0.60	Muy alta

Clima (P/ETP): 0,75

Cultivo: zanahoria:

Horizonte Nº	Prof. (cm)	Factor	subfactor	característica		valor subfactor	valor Factor	ip horizonte			
1	0-15	A	A ₁	agua útil (%)	16	0,93	0,85	0,51			
			A ₂	arcilla (%)	22	0,85					
				desarrollo estructural	mod.						
		B	B ₁	densidad aparente (gr/cm ³)	1,34	0,96	0,96				
				textura del suelo	media						
			B ₂	fragmentos gruesos (%)	10	-					
		C	C ₁	pH	5,8	1,0	1,00				
			C ₂	materia orgánica (%)	1,5	1,0					
				arcilla (%)	22						
		K		prof. hasta horizonte (cm)	15	0,63	0,63				
2	15-40	A	A ₁	agua útil (%)	12	0,68	0,68	0,19			
			A ₂	arcilla (%)	15	0,89					
				desarrollo estructural	mod.						
		B	B ₁	densidad aparente (gr/cm ³)	1,55	0,82	0,82				
				textura del suelo	media						
			B ₂	fragmentos gruesos (%)	20	-					
		C	C ₁	pH	5,3	0,93	0,93				
			C ₂	materia orgánica (%)	0,8	0,99					
				arcilla (%)	15						
		K		prof. hasta horizonte (cm)	30	0,37	0,37				

INDICE DE PRODUCTIVIDAD DEL SUELO (IP)

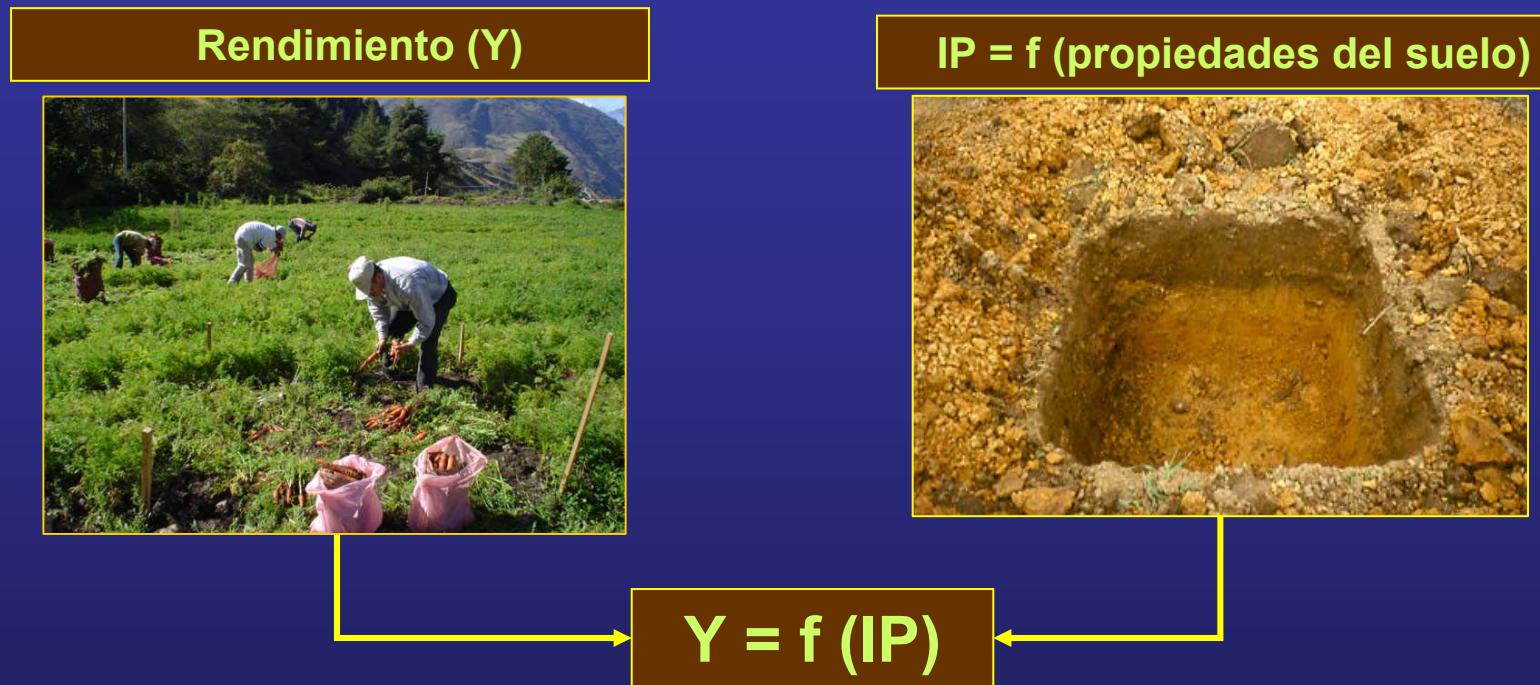


0,70

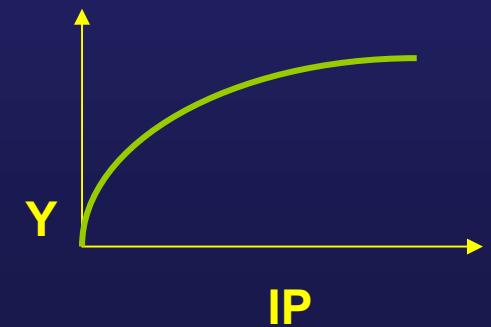


**Validación del
Indice de Productividad del Suelo (IP)
en condiciones de campo**

1. Correlaciones con rendimientos: comparar rendimientos de cultivos en campos de agricultores, con los valores del *Indice de Productividad (IP)* de los suelos:

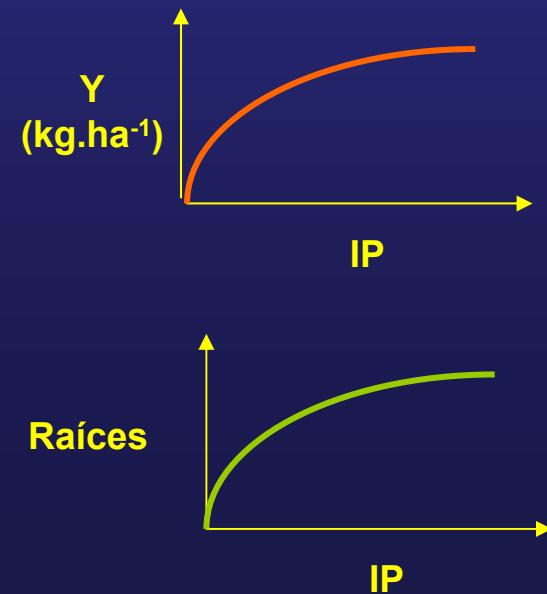
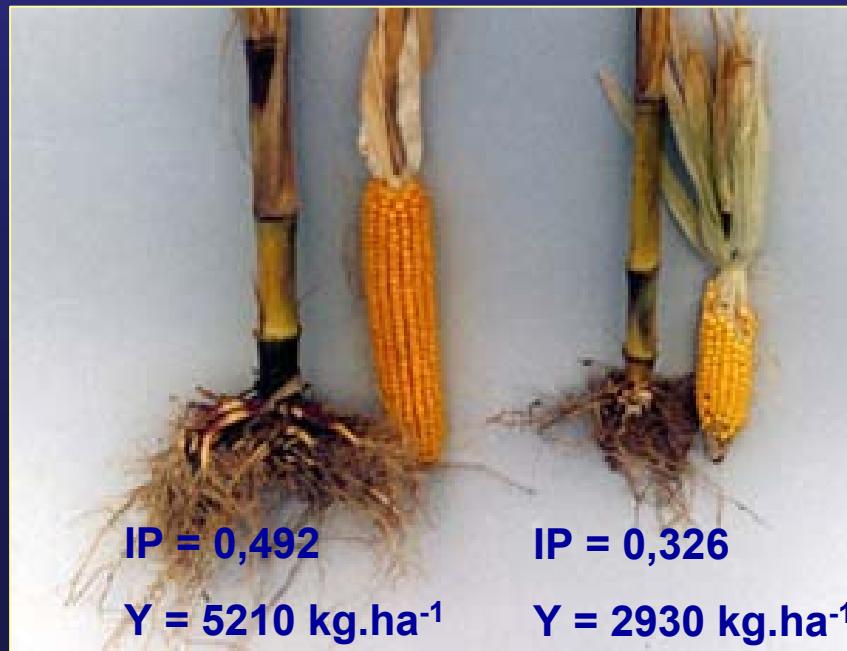
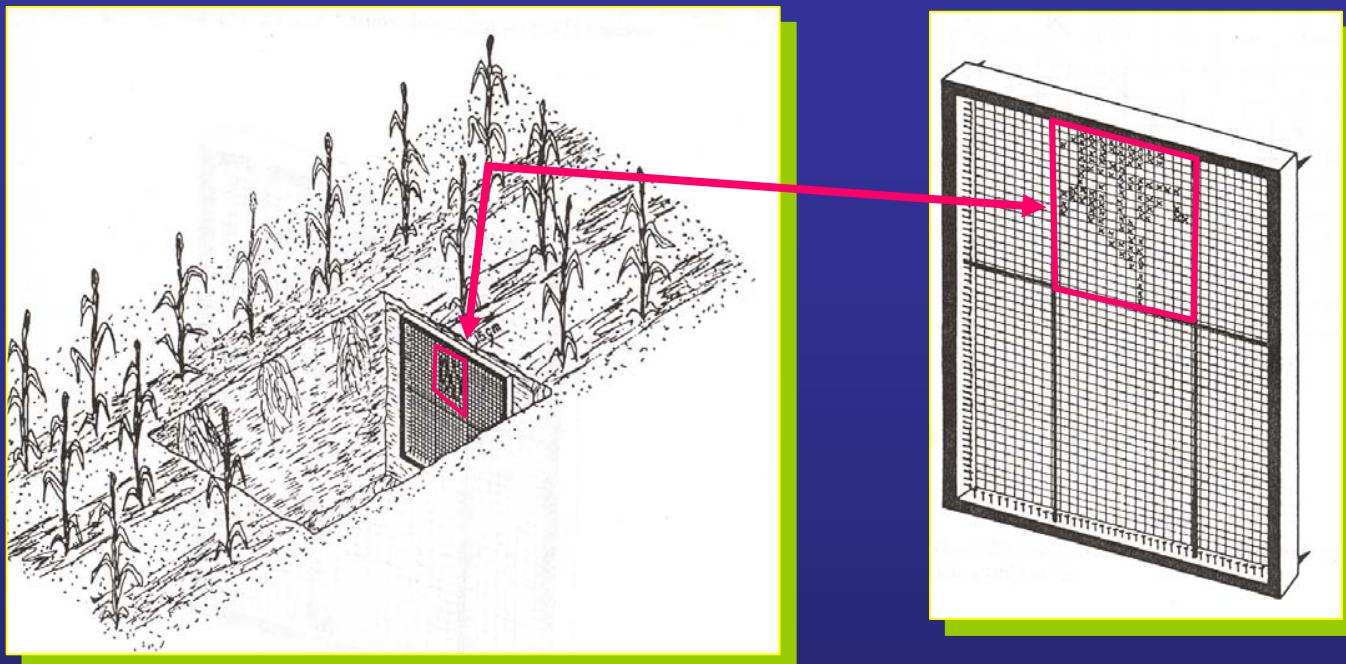


Región Fisiográfica	cultivo	ECUACION DE AJUSTE	R ²	n
Piedemonte	Maíz	$Y = 4950.8 + 1268.4 \ln(IP)$	0.799	15
	Sorgo	$Y = 2752.9 + 856.3 \ln(IP)$	0.685	12
Montaña	Papa	$Y = 20392 + 6342 \ln(IP)$	0.823	9
	Zanahoria	$Y = 35686 + 11100 \ln(IP)$	0.655	9

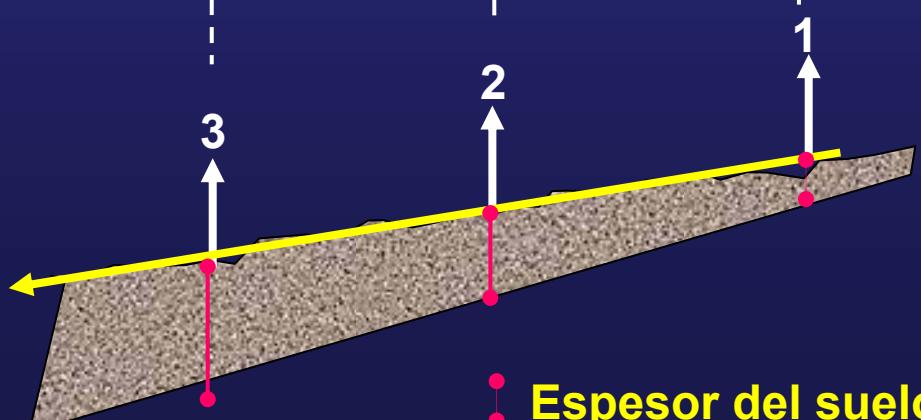
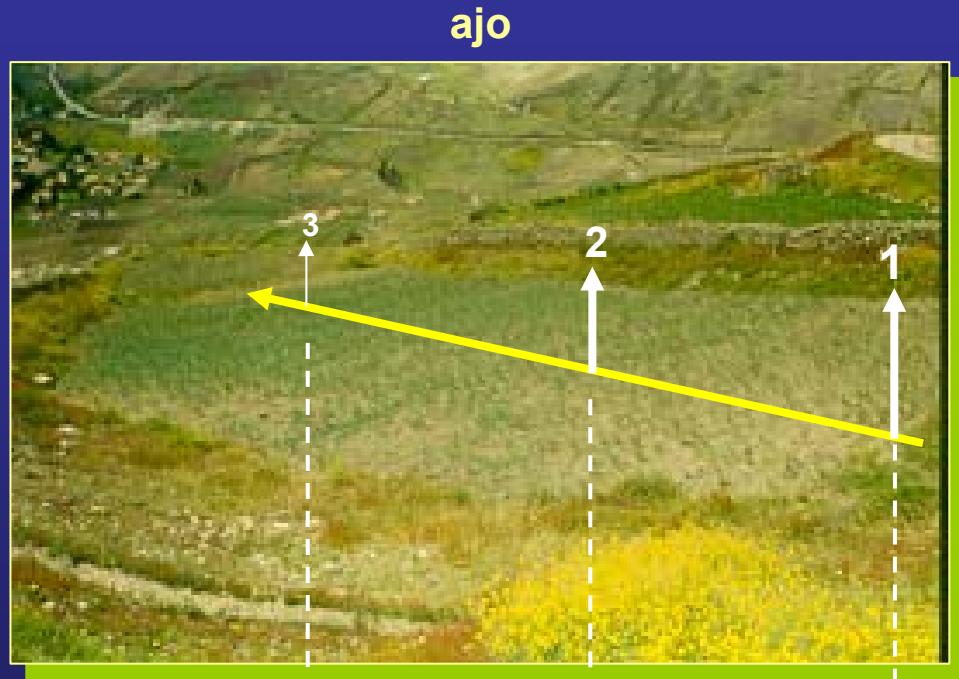
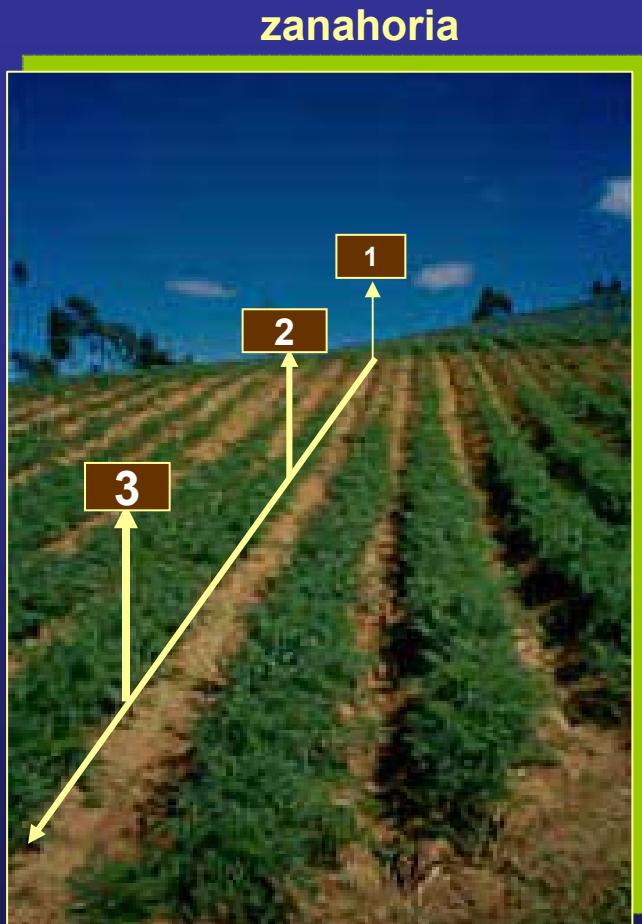


Y = rendimiento (kg.ha^{-1}); IP = Indice de Productividad del suelo

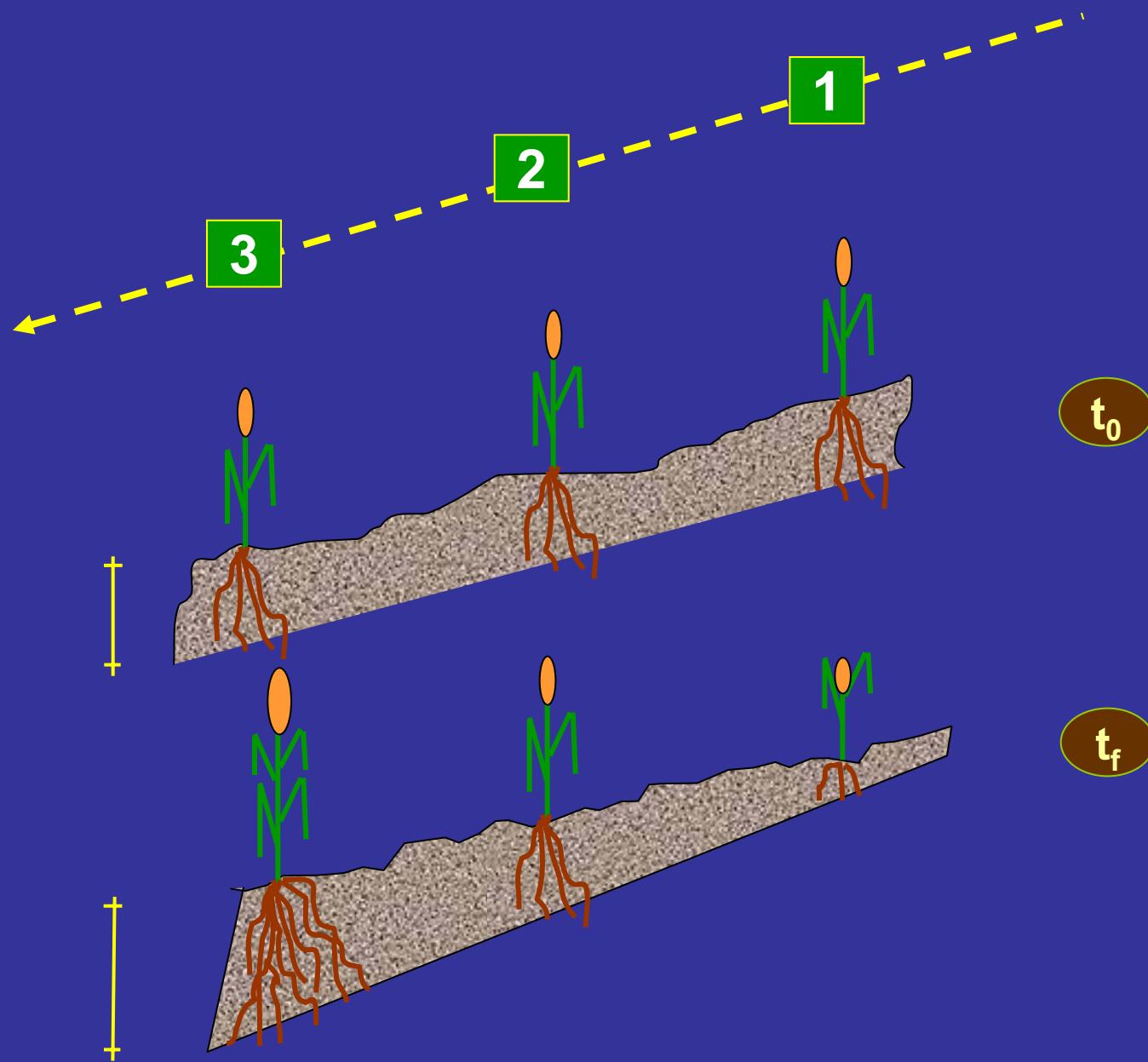
2. Evaluación del IP vs. crecimiento de raíces



3. Impactos de la erosión del suelo en el IP y en el rendimiento del cultivo (remoción natural)

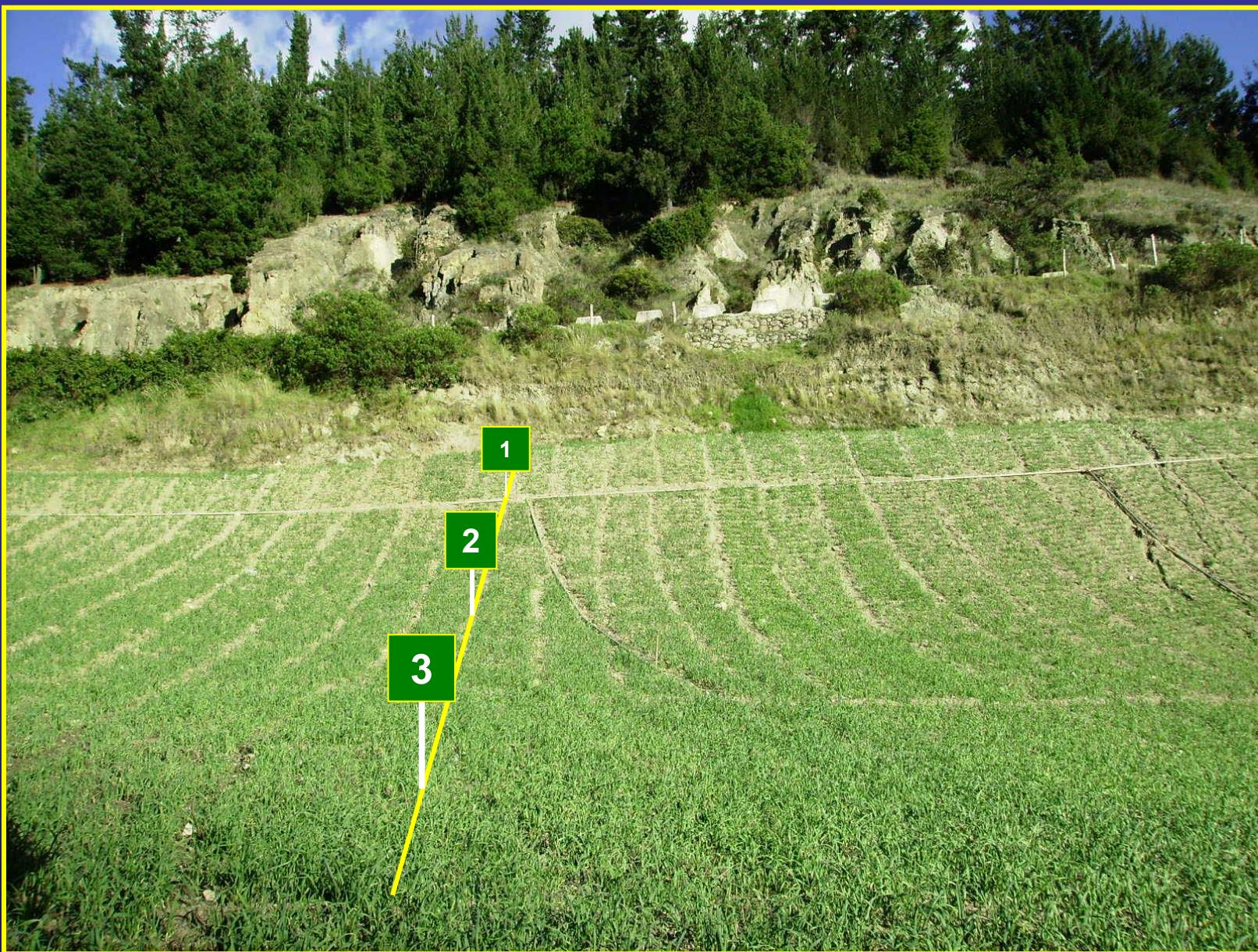


● **Espesor del suelo superficial**



Tratamientos en ladera: 3 = fondo 2 = medio 1 = tope

Cultivo: ajo



Tratamientos en ladera: 1 = tope 2 = medio 3 = fondo

Cultivo: papa



Tratamientos en ladera:

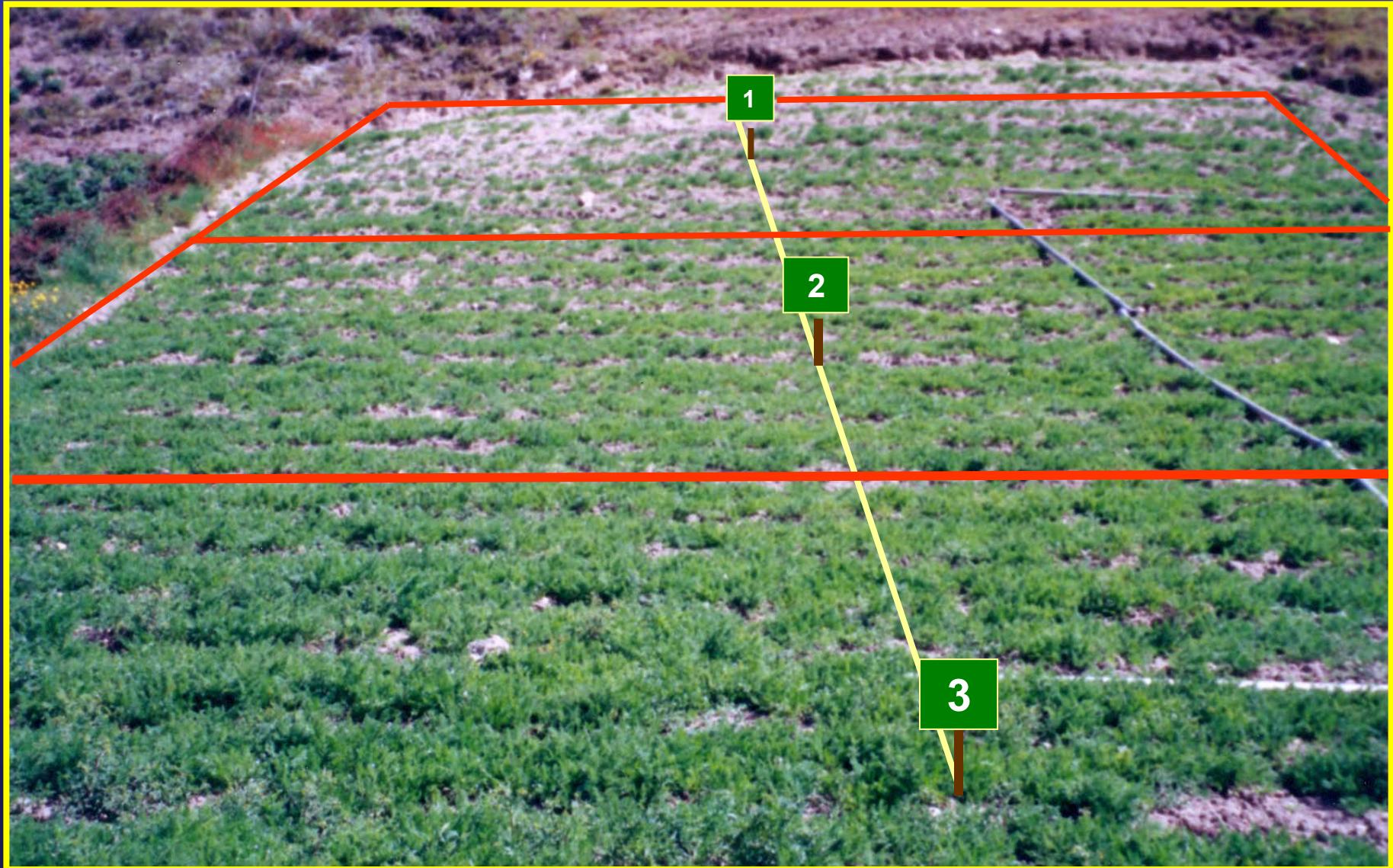
1 = tope 2 = medio 3 = fondo

**Variables de suelo y cultivo en una parcela bajo remoción natural.
Sector “Las Playitas”, Estado Mérida, Venezuela. (Cultivo: papa)**

Variables de suelo y cultivo		Tratamiento		
		1	2	3
suelo	espesor superficial (cm)	16.0	19.6	21.1
	IP	0.218	0.232	0.267
Cultivo	Altura de plantas (cm)	32.3	35.8	40.0
	Peso de tubérculos (g)	900	1200	1300
	Nº tubérculos por planta	17	18	19
	Rendimiento (Mg/ha)	19.1	20.1	22.4

Tratamientos en ladera: 1 = tope 2 = medio 3 = fondo

Cultivo: zanahoria



Tratamientos en ladera: 1 = tope 2 = medio 3 = fondo

**Variables de suelo y cultivo en 4 parcelas, bajo remoción natural.
Sector “Las Playitas”, Mérida (*cultivo: zanahoria*)**

Variables de suelo y cultivo		Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3			Parcela 4		
		Tratamiento			Tratamiento			Tratamiento			Tratamiento		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Suelo	espesor suelo superficial (cm)	26.1	28.5	36.3	30.3	32.0	33.0	12.3	12.7	13.3	29.0	32.0	33.0
	IP	0.26	0.29	0.34	0.23	0.25	0.26	0.28	0.31	0.32	0.31	0.34	0.35
Cultivo	Altura de plantas (cm)	25.7	31.8	41.3	27.0	31.0	39.0	41.5	41.6	44.6	31.8	36.3	35.7
	Longitud de raíces (cm)	15.6	16.0	17.5	13.5	14.0	14.6	18.1	20.1	19.7	16.5	17.0	16.8
	Peso de raíces (g)	550	600	830	330	580	630	750	810	890	700	710	730
	Rendimient. (Mg/ha)	21.6	28.6	33.6	23.0	26.0	27.5	23.0	31.3	33.3	29.5	34.0	34.1

Tratamientos en ladera: 1 = tope 2 = medio; 3 = fondo

Relaciones entre rendimiento, índice de productividad (IP) y espesor del suelo superficial, bajo *remoción natural* de suelo.



Cultivo	ECUACION DE AJUSTE	R ²	n
zanahoria	$Y = 58.25 + 24.53 \ln(\text{IP})$	0.498	36
	$Y = 0.030(d)^2 - 1.184(d) + 35.3$	0.503	36
papa	$Y = 36.45 + 11.23 \ln(\text{IP})$	0.698	9
	$Y = -0.1303(d)^2 + 4.38(d) - 15.43$	0.579	9



Y = rendimiento (Mg.ha^{-1})

IP = Índice de Productividad del suelo

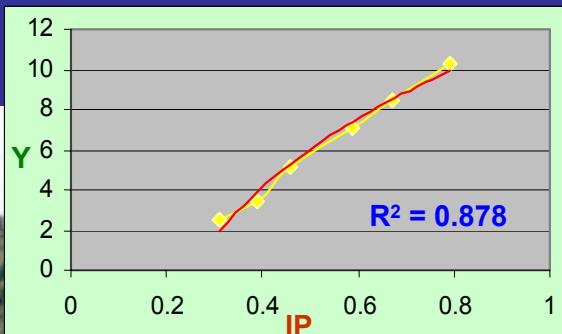
d = espesor del suelo superficial (cm)



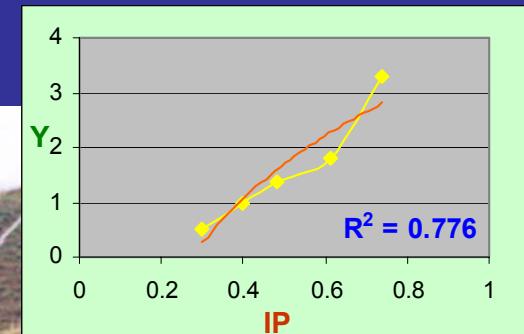
Pasto Kikuyo



materia verde



materia seca



$Y = 10.3$

$Y = 8.5$

$Y = 7.1$

$Y = 5.2$

$Y = 3.4$

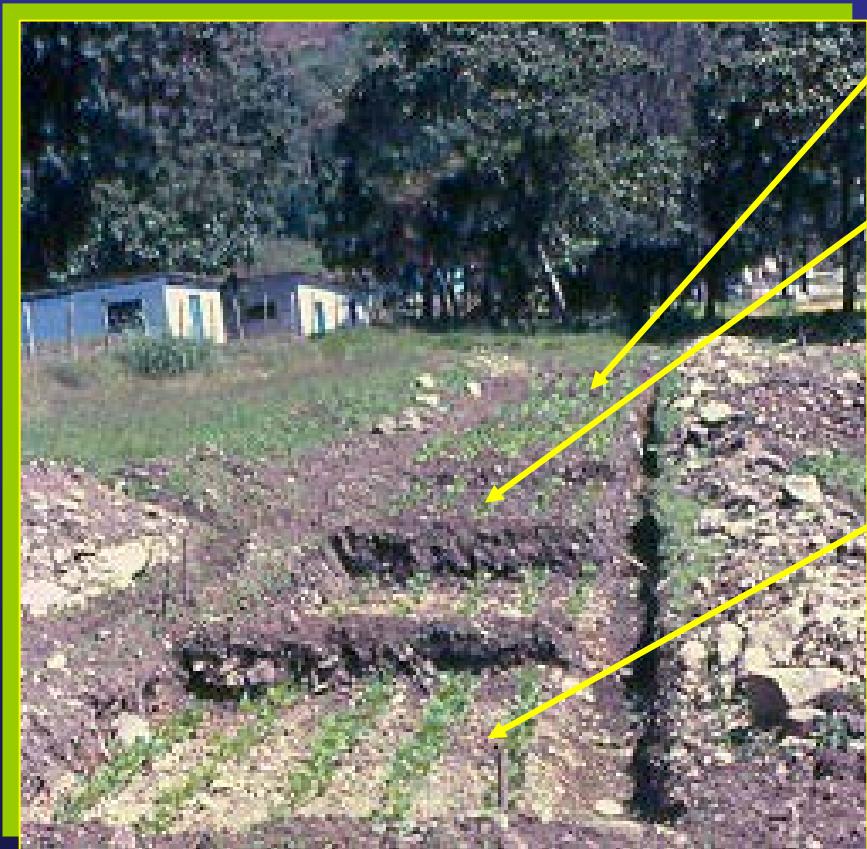
$Y = 2.5$



IP = Índice de productividad del suelo

Y = Rendimiento ($Mg.ha^{-1}$)

4. Impactos de la erosión del suelo en el IP y en el rendimiento del cultivo (remoción artificial)



0% suelo removido

50% suelo removido

100% suelo removido



Indices de productividad y rendimientos para diferentes niveles de manejo y remoción artificial de suelo (cultivo: fríjol negro)

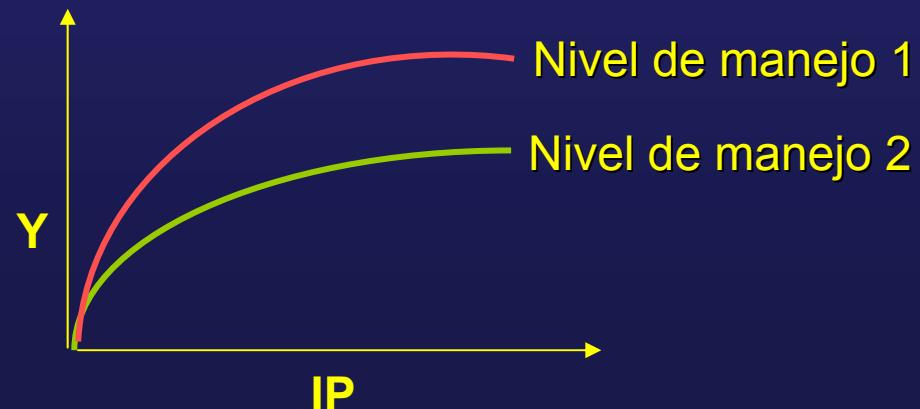
nivel de manejo	réplica	suelo removido (%)	IP	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
1 (altas dosis de fertilizante y estiércol)	1	0	0.427	1373
	1	50	0.398	736
	1	100	0.390	625
	2	0	0.421	1206
	2	50	0.399	1086
	2	100	0.375	950
	3	0	0.423	1722
	3	50	0.410	1201
	3	100	0.390	941
2 (moderadas dosis de fertilizante y estiércol)	1	0	0.397	1549
	1	50	0.372	782
	1	100	0.362	560
	2	0	0.398	936
	2	50	0.386	910
	2	100	0.376	681
	3	0	0.437	1571
	3	50	0.417	1562
	3	100	0.356	435

Relaciones entre Rendimientos e Índice de Productividad del suelo, para *remoción artificial* de suelo bajo dos niveles de manejo (cultivo: fríjol negro)

Región Fisiográfica	Nivel de manejo	ECUACION DE AJUSTE	R ²	n
Montaña	1	$Y = 9397.28 + 9318.01 \ln (\text{IP})$	0.625	9
	2	$Y = 6656.7 + 6003.67 \ln (\text{IP})$	0.760	9

Y = rendimiento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

IP = Índice de Productividad

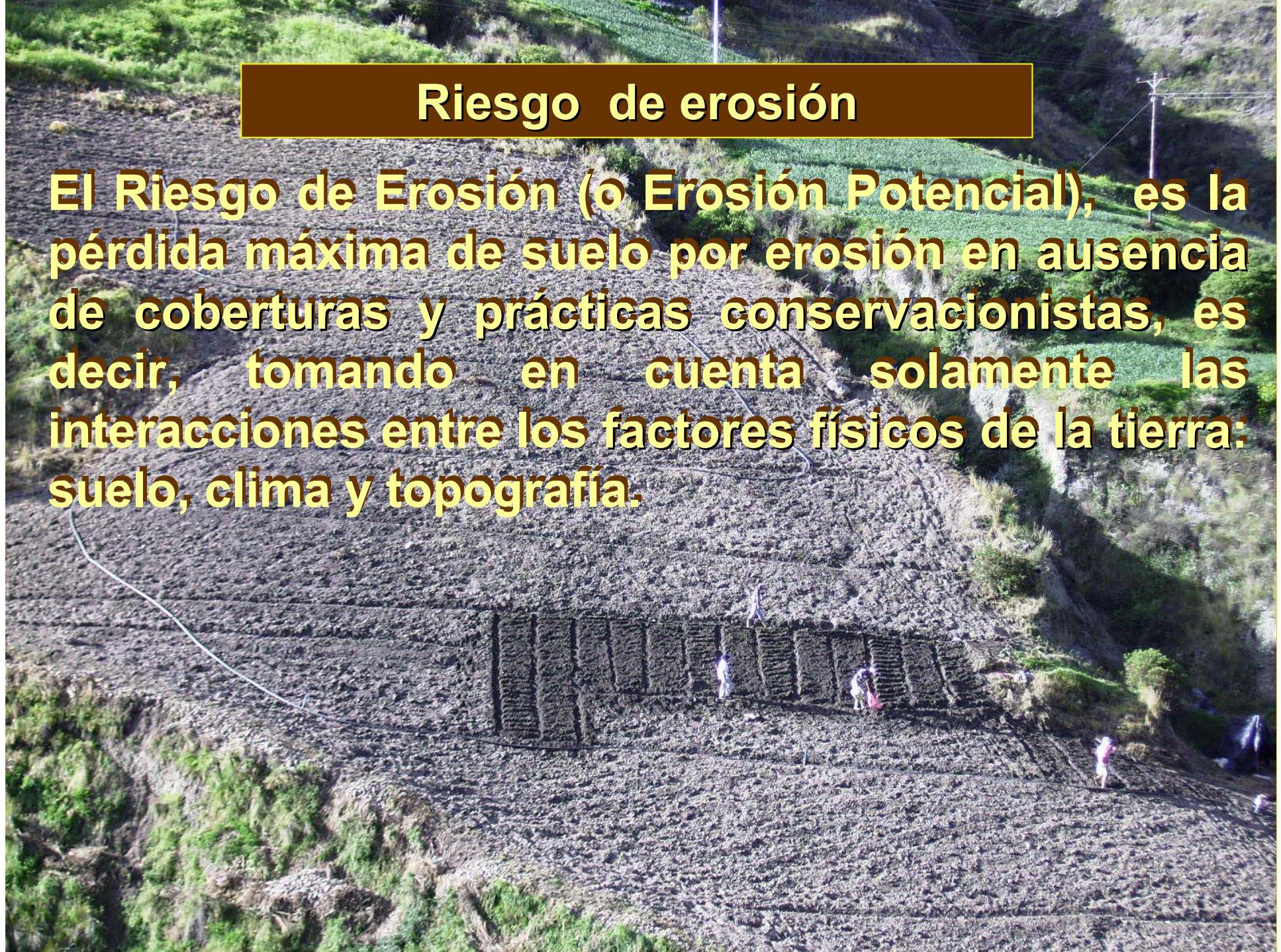


RIESGO DE EROSION



Riesgo de erosión

El Riesgo de Erosión (o Erosión Potencial), es la pérdida máxima de suelo por erosión en ausencia de coberturas y prácticas conservacionistas, es decir, tomando en cuenta solamente las interacciones entre los factores físicos de la tierra: suelo, clima y topografía.



Indice de Riesgo de Erosión (IRE) para tierras de laderas andinas (*Delgado, 2003*)

$$\text{IRE} = \frac{\eta}{10 (1 - \alpha)}$$

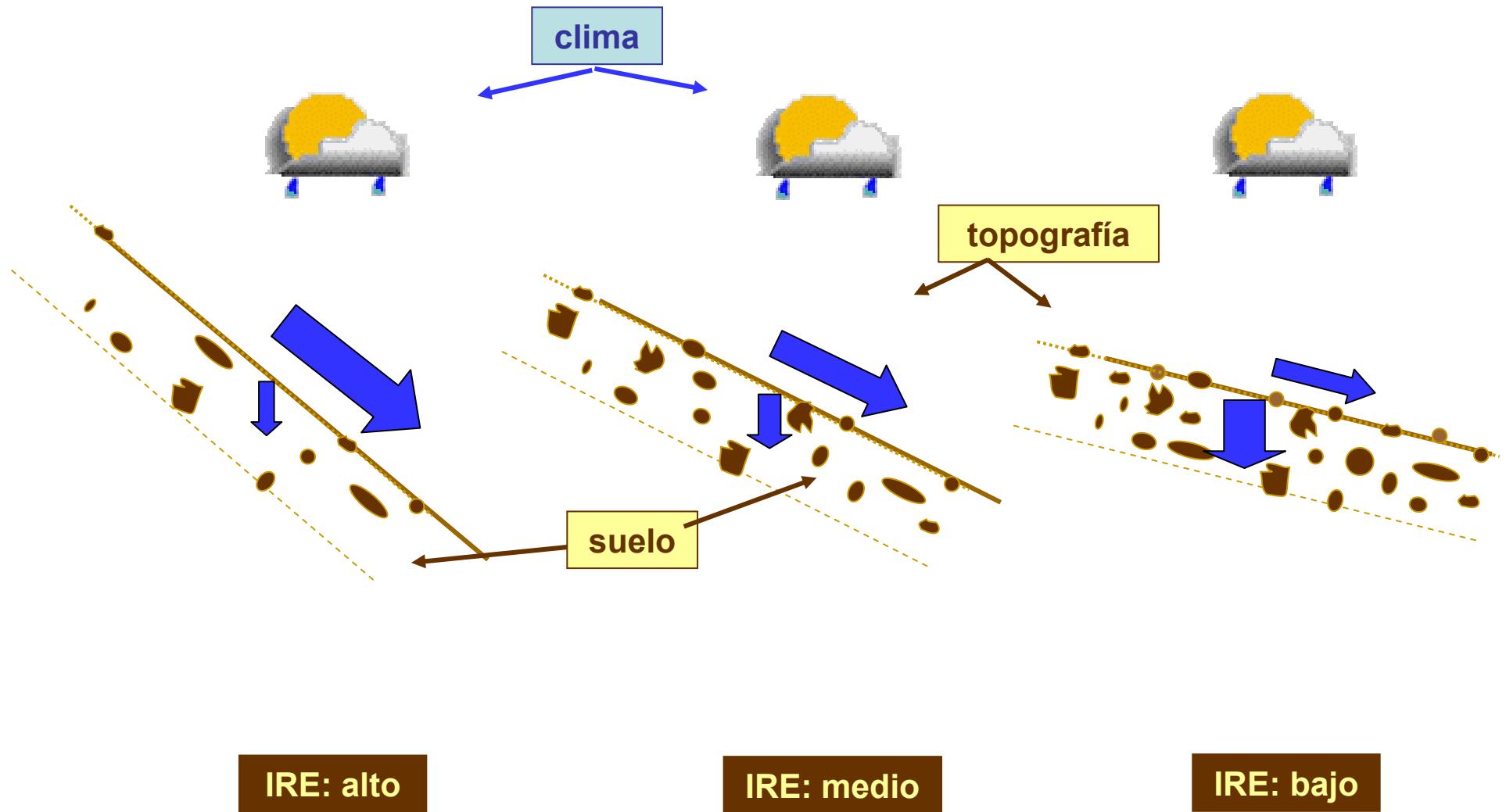
IRE = Indice de Riesgo de Erosión (0-1)

η = Factor que evalúa el efecto de la interacción *topografía-precipitación* (0-1)

α = Factor que evalúa el *potencial de escorrentía del suelo superficial* (0-1)

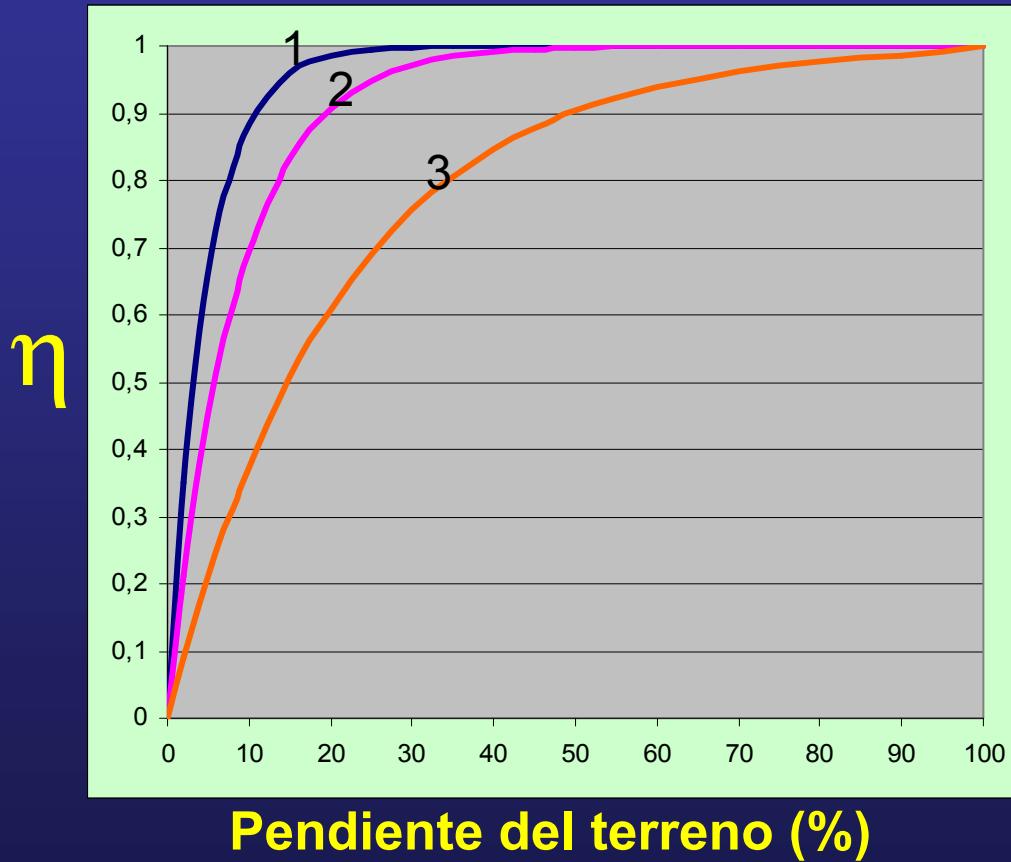
IRE varía desde 0 (ningún riesgo de erosión) hasta 1 (alto riesgo de erosión)

Factores determinantes del IRE



Factor η

Evaluá el efecto de la interacción topografía-precipitación sobre el riesgo de erosión



<u>Curva Nº</u>	<u>Indice de Fournier</u>
1	> 30 (alto)
2	15 – 30 (medio)
3	< 15 (bajo)

Indice de Fournier:

$$F = \frac{p^2}{P}$$

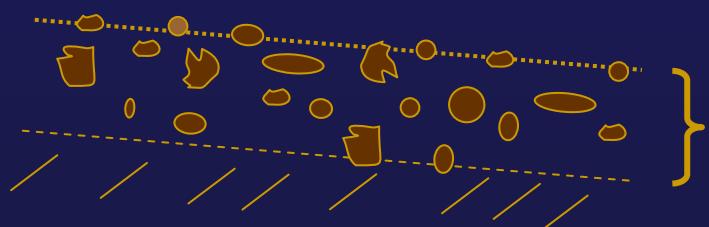
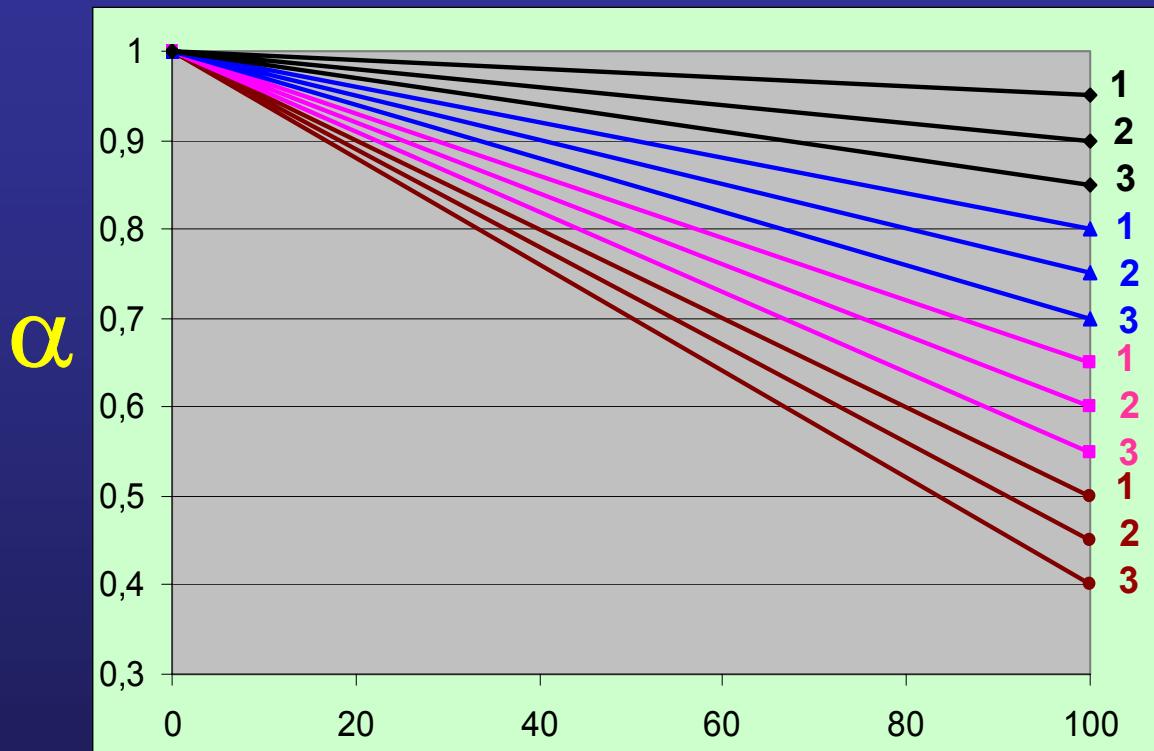
F = Indice de Fournier

p = Precipitación del mes más lluvioso

P = Precipitación total anual

Factor α

Evalúa el potencial de escorrentía del suelo superficial



Textura del suelo:

→ *muy fina (A, AL)*

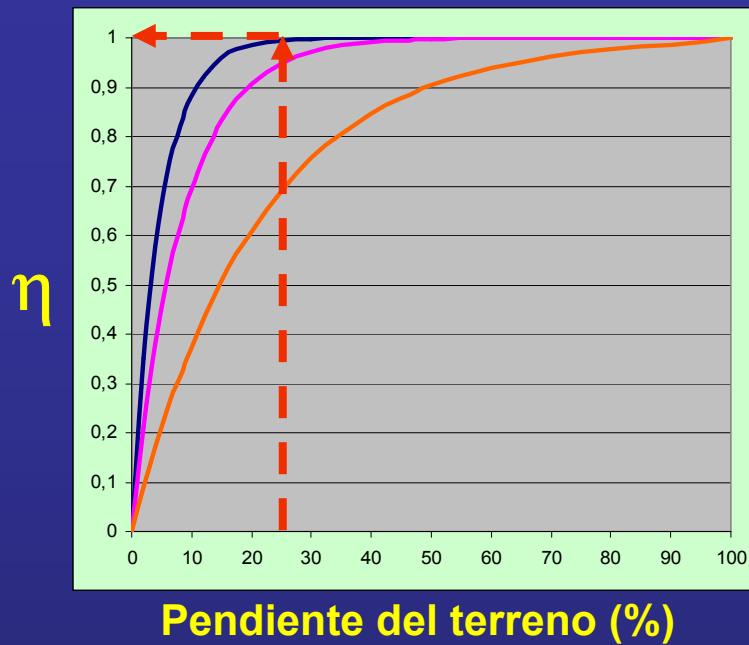
→ *fina (FAL, FL, L)*

→ *media (F, FAa, Aa)*

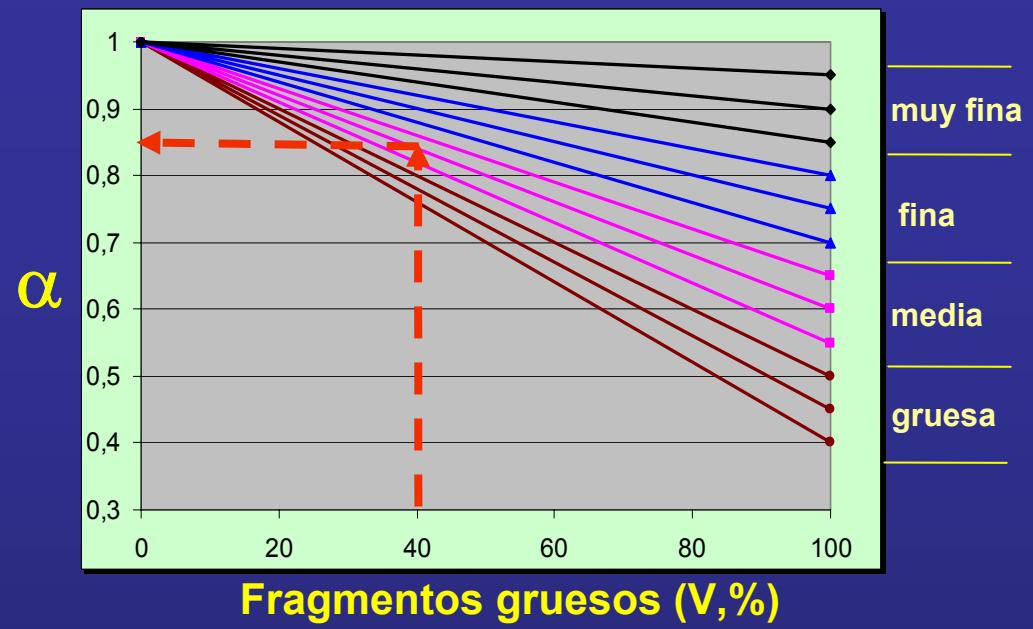
→ *Gruesa (a, Fa, aF)*

Curva Nº	Grado de desarrollo de la estructura del suelo superficial
1	Débil
2	Moderada
3	Fuerte





Pendiente del terreno (%)



Fragmentos gruesos (V,%)

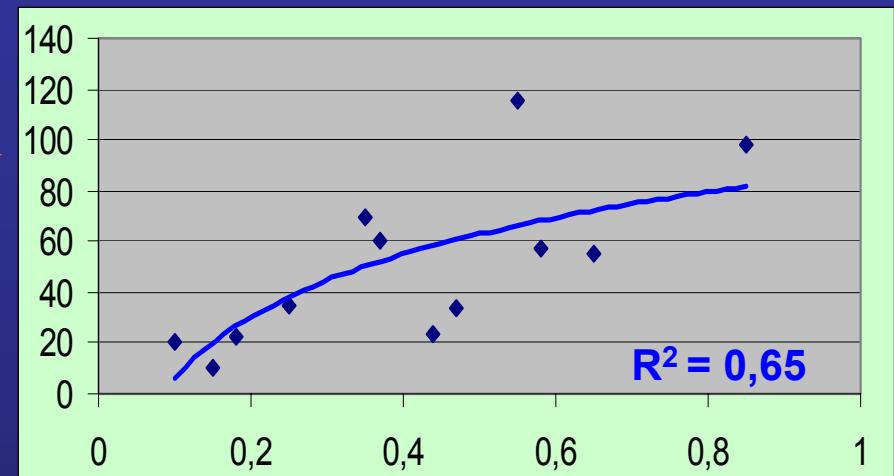
Factor	subfactores	Valor subfactor	Valor Factor	IRE
η	Pendiente (%)	25	1,0	0,66
	Indice de Fournier	35		
α	Fragmentos gruesos (%)	40	0,85	0,66
	Textura del suelo	media		
	Desarrollo estructural	moderado		

Valores del *Indice de Riesgo de Erosión (IRE)* para tierras de los Andes Venezolanos

IRE	Riesgo de Erosión
≤ 0.15	Bajo
0.16 – 0.35	Moderado
0.36 – 0.60	Alto
> 0.60	Muy Alto

Validación del IRE en parcelas de erosión

Pérdidas de suelo
(Mg.ha⁻¹.año⁻¹)



IRE

Parcelas con
suelo desnudo



Aplicaciones:
Planificación del uso de la tierra y
selección de prácticas de conservación
de suelos en laderas

Indice de Productividad (IP)

IP = f (características biofísicas del suelo que propician enraizamiento)



$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

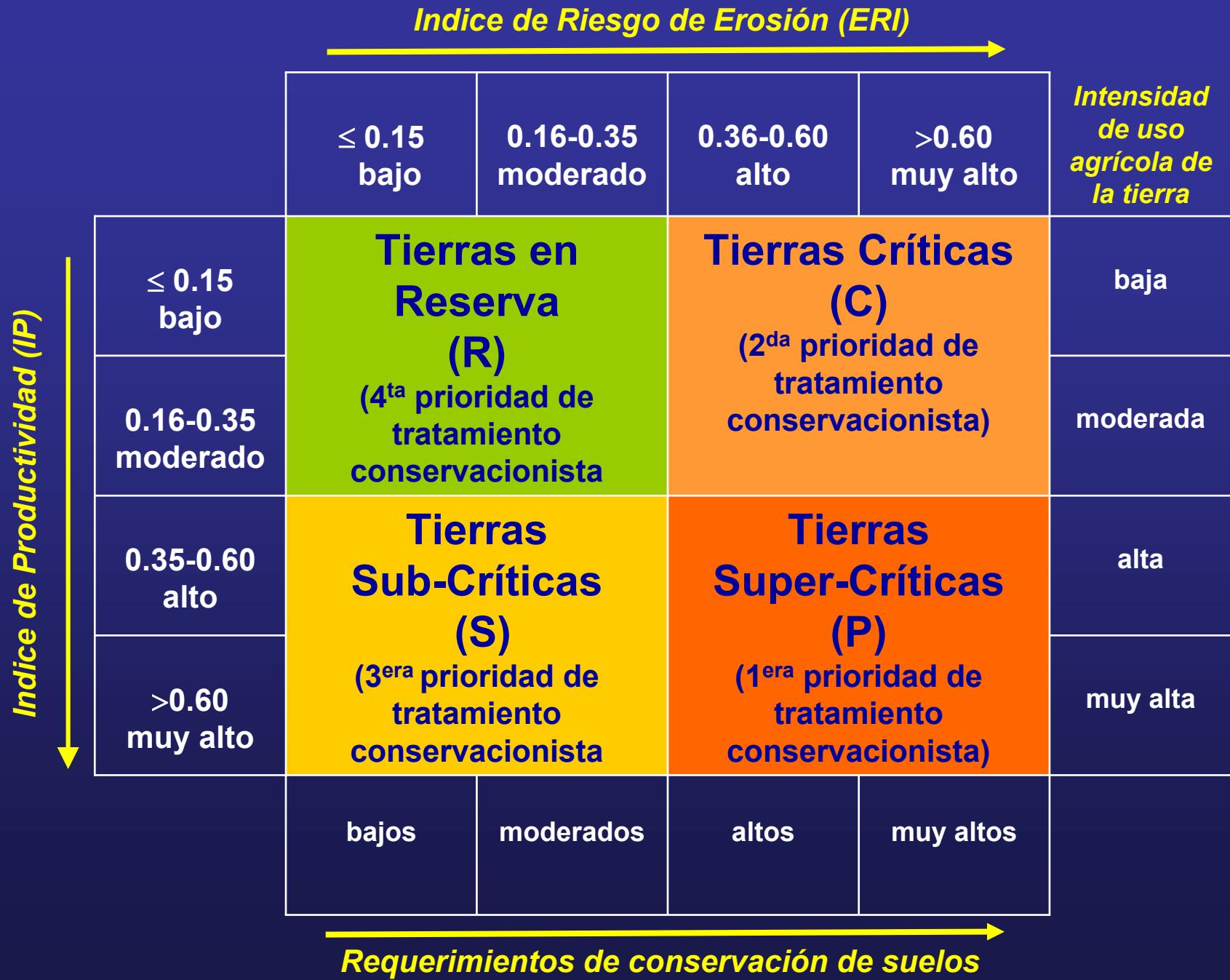
Indice de Riesgo de Erosión (IRE)

IRE = f (características físicas de la tierra que favorecen la erosión hídrica)



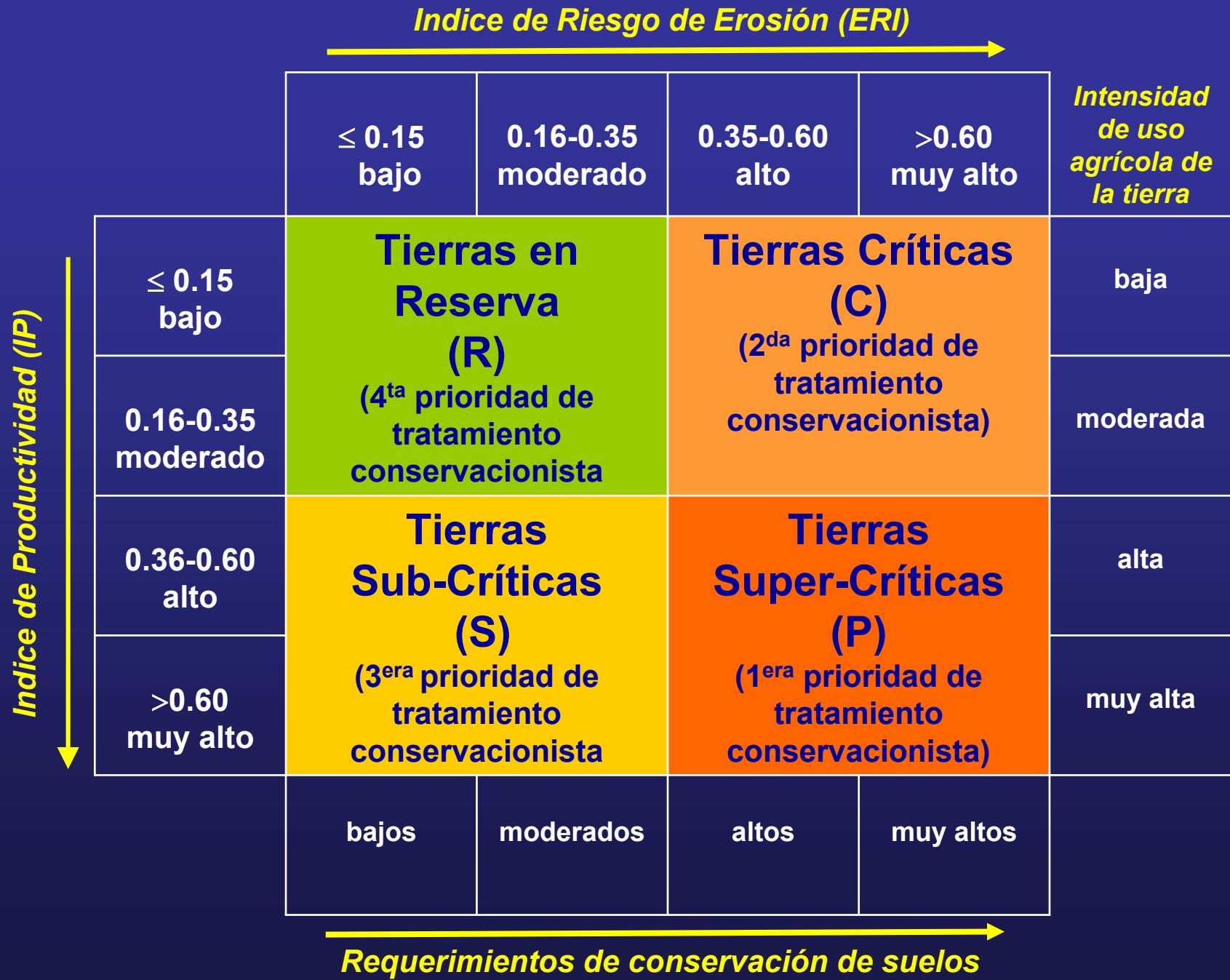
$$IRE = \frac{\eta}{10(1 - \alpha)}$$

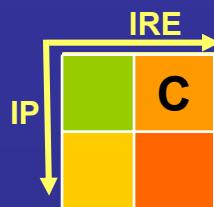
Los valores de estos dos índices en una matriz permiten generar Clases de Tierra en términos de la productividad de los suelos y los riesgos de erosión de la tierra



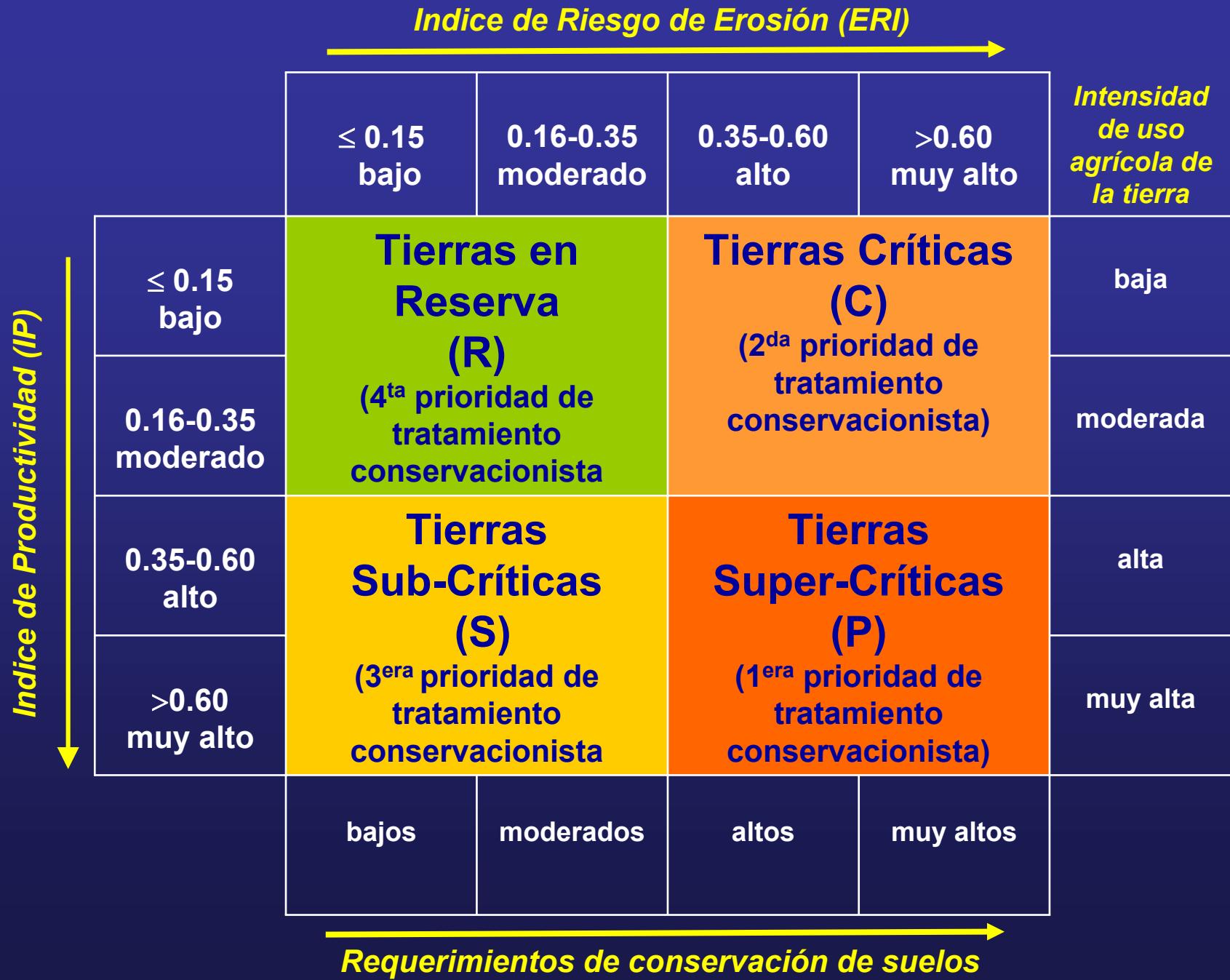


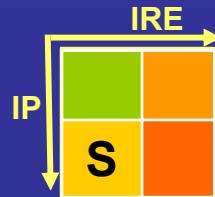
Tierras Super-Críticas (P)



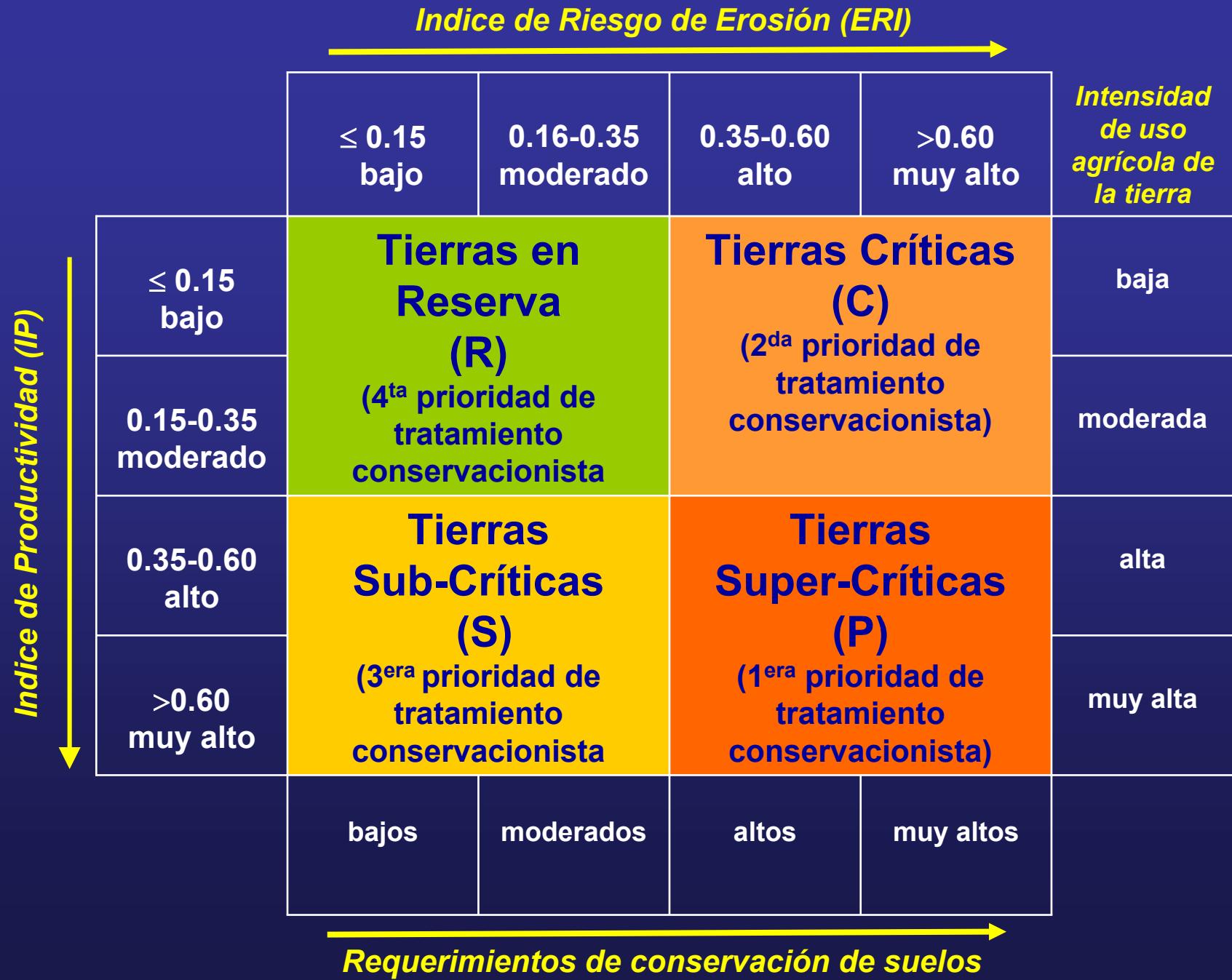


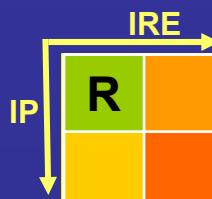
Tierras Críticas (C)





Tierras Sub-Críticas (S)

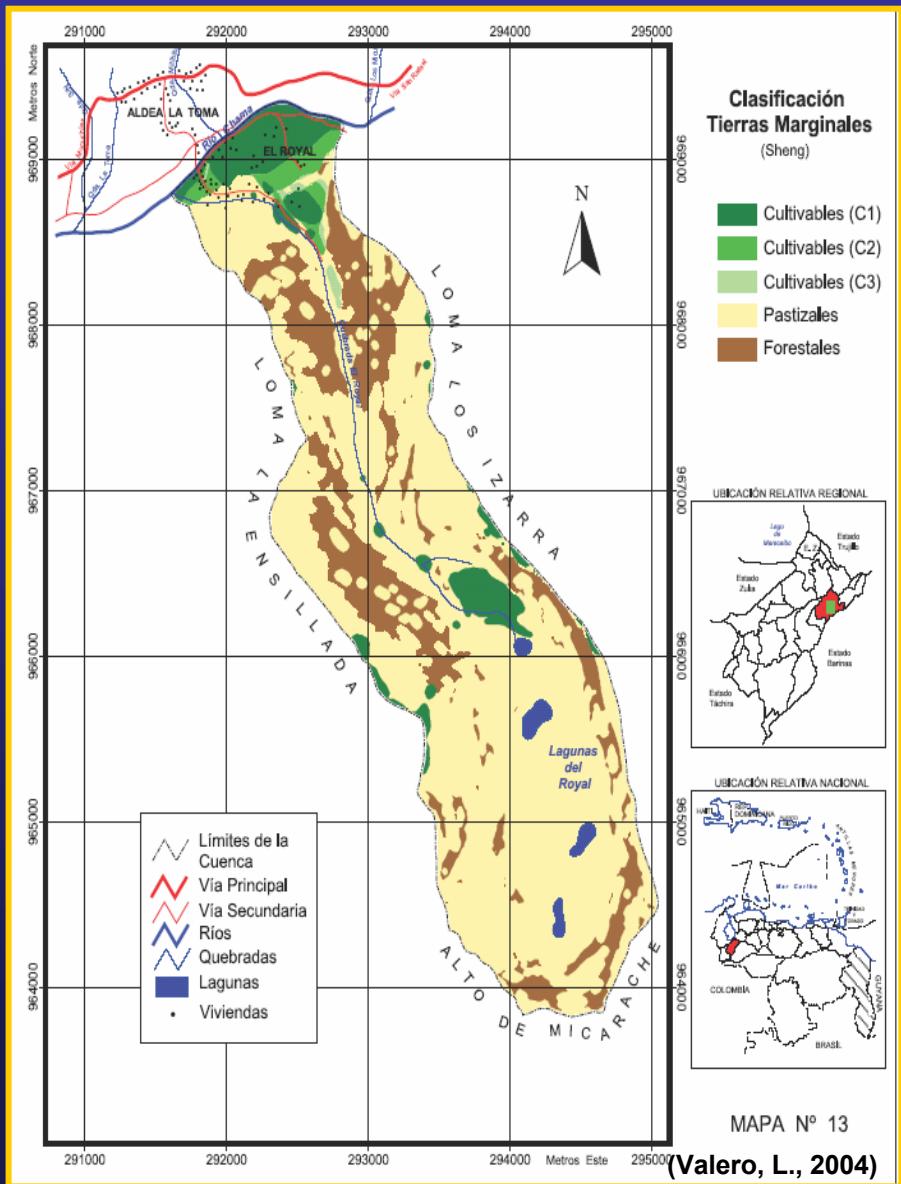




Tierras en Reserva (R)

CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR EL METODO DE SHENG (1972)

(Valero, 2004)

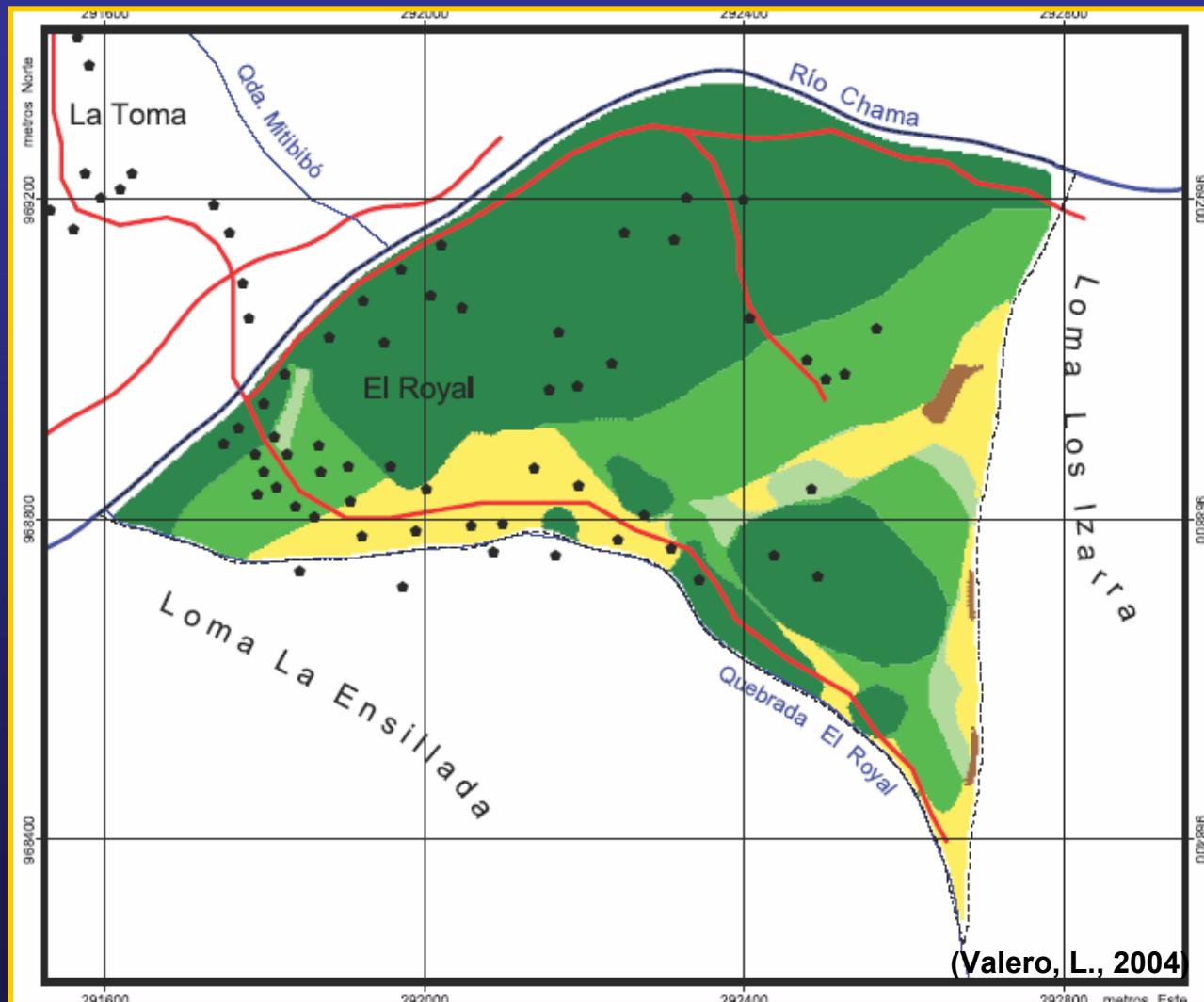


**Microcuenca "El Royal",
(Estado Mérida, Venezuela)**

CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR EL METODO DE SHENG (1972)

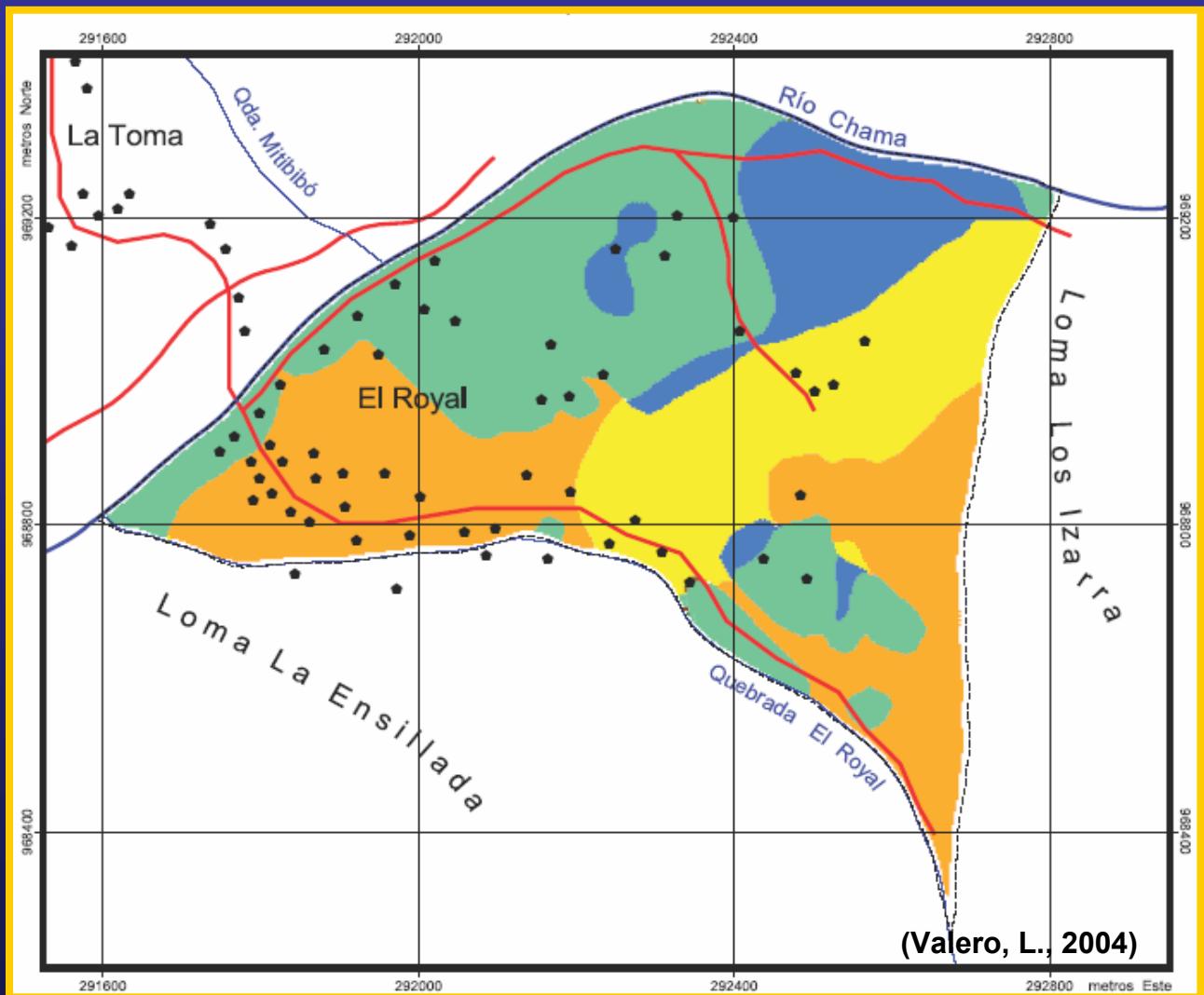
(Valero, 2004)

- Tierras cultivables C₁
- Tierras cultivables C₂
- Tierras cultivables C₃
- Tierras para pastizales P
- Tierras forestales F



Escala 1:5000

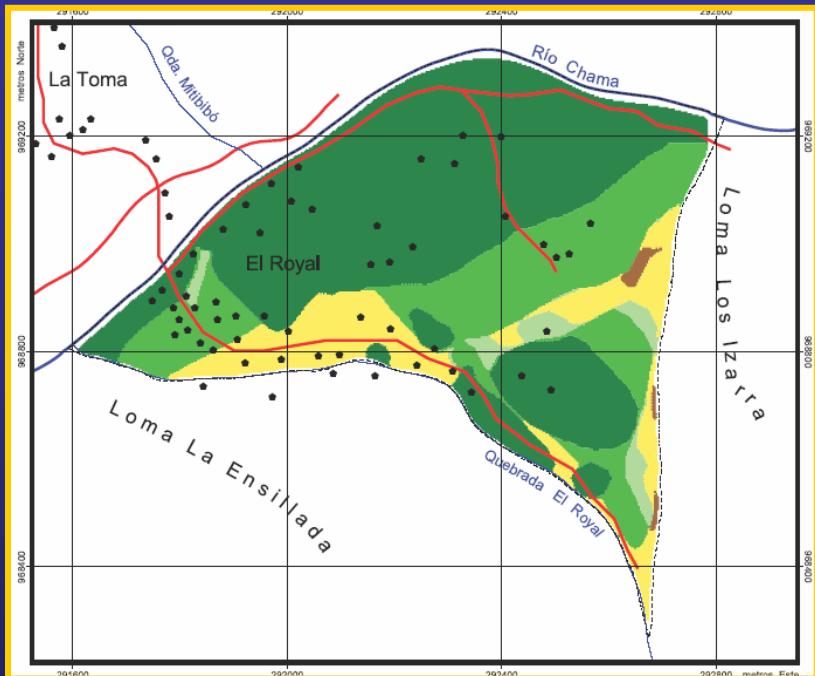
CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR EL MÉTODO DE DELGADO (1997; 2003) (Valero, 2004)



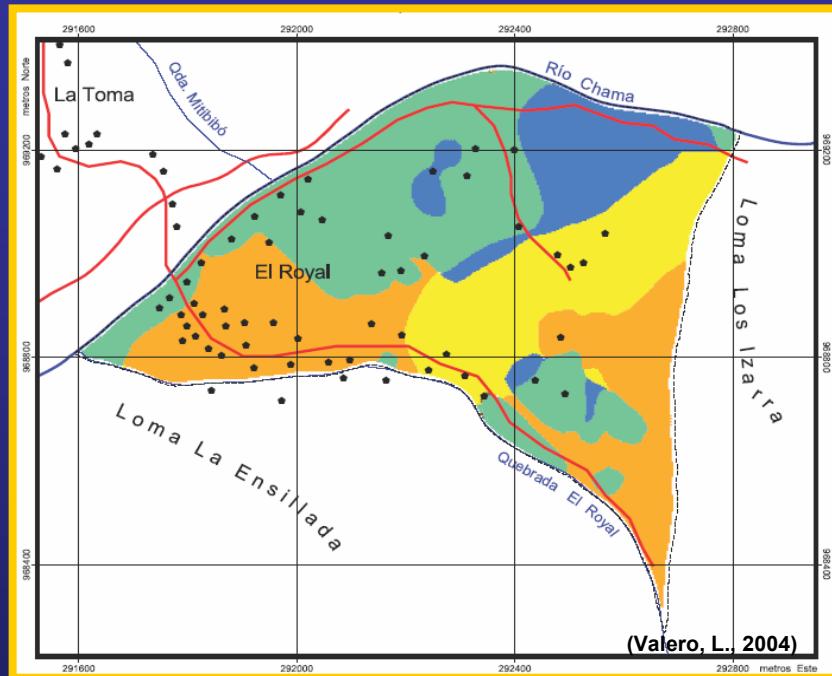
Escala 1:5000

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR EL MÉTODO DE SHENG (1972) Y DELGADO (1997; 2003)

(Valero, 2004)



- █ Tierras cultivables C₁
- █ Tierras cultivables C₂
- █ Tierras cultivables C₃
- █ Tierras para pastizales P
- █ Tierras forestales F



- █ Tierras en condición Super-crítica (P)
- █ Tierras en condición Crítica (C)
- █ Tierras en condición sub-crítica (S)
- █ Tierras en Reserva (R)

(Valero, L., 2004)



An aerial photograph showing a steep hillside covered in agricultural terraces. The fields are various shades of green and brown, indicating different crops or stages of cultivation. Small farm buildings with red roofs are scattered throughout the landscape. The terrain is rugged, with deep gullies and exposed rock faces where soil has washed away.

Clasificación de las prácticas de conservación de suelos para la agricultura de laderas

Categoría I:

Prácticas de *mejoramiento de suelos* y
manejo de coberturas.

Objetivo: crear condiciones que reduzcan los riesgos de separación y transporte de suelo.

(prácticas verdes)

Categoría I: prácticas verdes

Objetivos:

- *mejorar la productividad del suelo*
- *reducir la erosionabilidad del suelo*
- *disipar el impacto de la erosividad de la lluvia.*

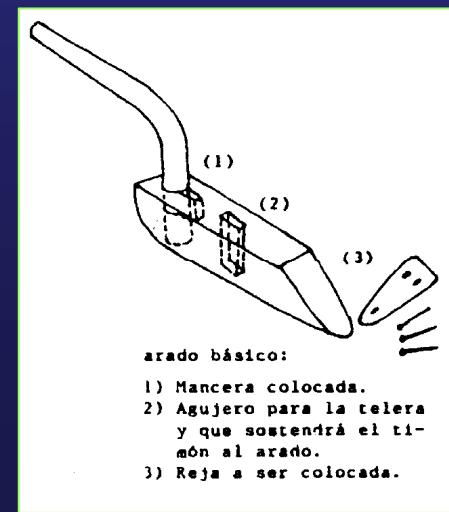


Categoría I

Grupo I-A <i>Mejoramiento de suelos</i> (MS)	Grupo I-B <i>Manejo de Coberturas</i> (MC)
MS - 1 Labranza reducida MS - 2 Labranza vertical MS - 3 Labranza mulch MS - 4 Siembra directa MS - 5 Labranza en camellones MS - 6 Escarificación de suelos MS - 7 Subsolado MS - 8 Aradura profunda MS - 9 Aplicación fertilizantes MS-10 Incorporación residuos MS-11 Abonos orgánicos MS-12 Abonos verdes MS-13 Enmienda suelos ácidos MS-14 Enmienda suelos sódicos MS-15 Acondicionadores sintéticos	MC - 1 Coberturas vivas MC - 2 Mulching MC - 3 Densificación de plantas MC - 4 Cultivos múltiples MC - 5 Rotación de cultivos MC - 6 Cultivos intercalados MC - 7 Cultivos tolerantes MC - 8 Cultivos permanentes MC - 9 Cultivos bajo sombra MC-10 Pastizales MC-11 Agroforestería MC-12 Aforestación-Reforestación MC-13 Revegetación natural



MS-2 Labranza vertical





MS-4 Siembra directa

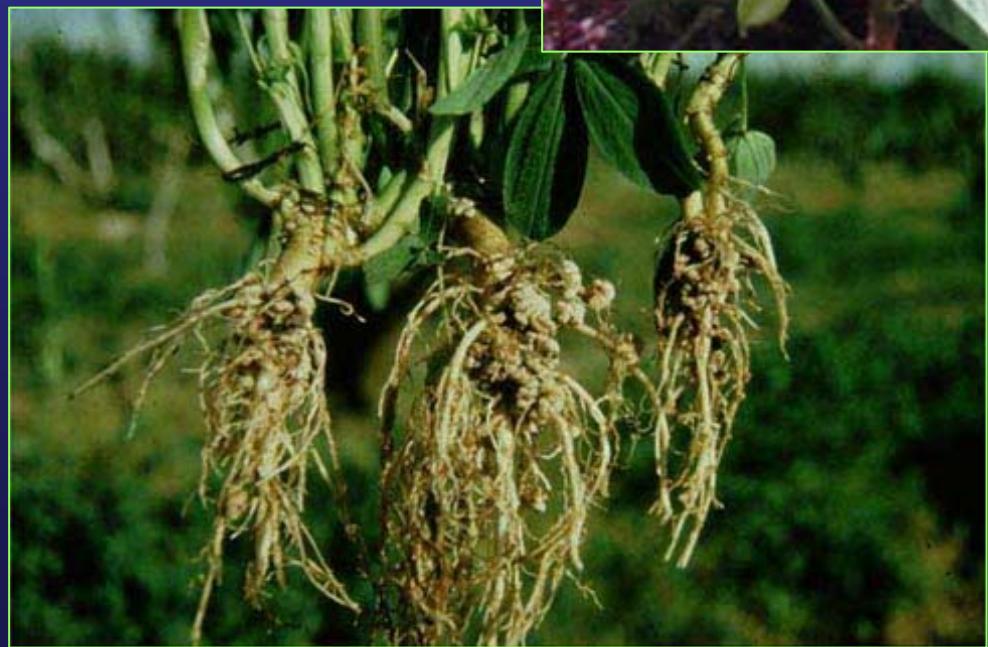




MS-11 Abonos orgánicos



MS-12 abonos verdes





MS-13 Enmiendas para suelos ácidos



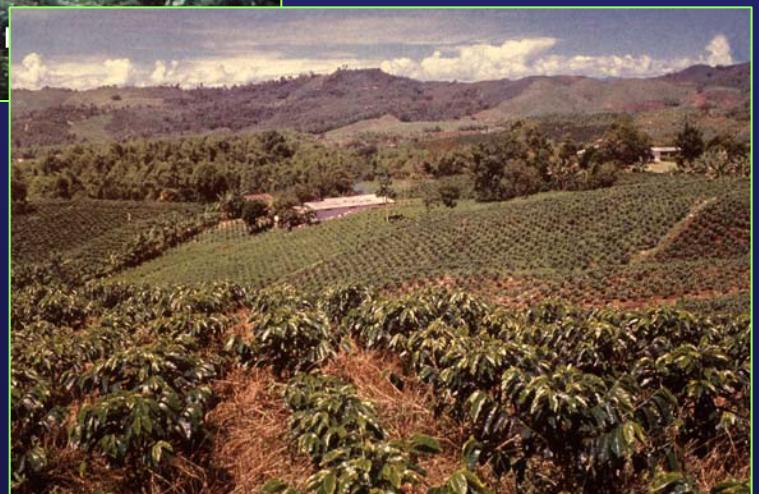


MC- 1 Coberturas vivas





MC-2 Mulching





MC- 6 cultivos intercalados





MC- 8 cultivos permanentes





MC- 9 cultivos bajo sombra



MC- 10 Pastizales mejorados



MC- 11 Agroforestería



MC- 12 Reforestación



Categoría II:

Prácticas para reducir la erosividad de la **escorrentía** en terrenos inclinados.

Objetivos: reducir los impactos de los flujos de escorrentía y/o modificar la longitud o el gradiente de la pendiente, para reducir la energía erosiva del agua de escorrentía.

(prácticas azules)

Categoría II: prácticas azules

Objetivo principal: reducir los impactos de la escorrentía.



Categoría II

Grupo II-A <i>Reducción de la velocidad de escorrentíos en laderas</i> (AE)	Grupo II-B <i>Captación y/o conducción de escorrentíos en laderas</i> (CE)
AE - 1 cultivos en contorno AE - 2 barreras vivas AE - 3 barreras muertas AE - 4 cultivos en fajas AE - 5 cultivo en callejones	CE - 1 canales de desviación CE - 2 acequias de ladera CE - 3 zanjas de absorción CE - 4 zanjas filtrantes CE - 5 zanjas trinchera CE - 6 terrazas de desviación (b.a.) CE - 7 terrazas de absorción (b.a.) CE - 8 terrazas de base angosta CE - 9 surcos en contorno
Grupo II-C <i>Reducción de la longitud de la pendiente</i> (LP)	Grupo II-D <i>Reducción del gradiente de la pendiente</i> (GP)
LP-1 fajinas LP-2 acordonamiento de piedras LP-3 fajinas altas en contorno LP-4 diques para control de cárcavas	GP-1 muros de piedras GP-2 terrazas de bancos contiguos GP-3 terrazas de bancos alternos GP-4 terrazas individuales



AE-1 cultivo en contorno



AE-2 barreras vivas



CE-1 Canales de desviación



CE-2 Acequias de ladera



CE-3 Zanjas de absorción





CE-9 Surcos en contorno



LP- 2 acordonamiento de piedras





GP-1 muros de piedras

GP-2 Terrazas de banco contiguos





GP-3 terrazas de bancos alternos

Categoría III

-Prácticas complementarias-

***Objetivos:* modificar cualquier condición limitante de la tierra que permita mejorar la eficiencia o la protección de cualquiera de las prácticas incluidas en las categorías anteriores.**

(prácticas marrones)

Categoría III

Prácticas complementarias (PC)

- PC - 1 remoción de piedras**
- PC - 2 nivelación**
- PC - 3 riego por aspersión**
- PC - 4 riego por goteo**
- PC - 5 drenajes superficiales**
- PC - 6 drenajes internos**
- PC - 7 cortafuegos**
- PC - 8 cercas protectoras**
- PC - 9 rompevientos**
- PC-10 senderos para el ganado**



PC-1 remoción e piedras



PC- 3 riego por aspersión

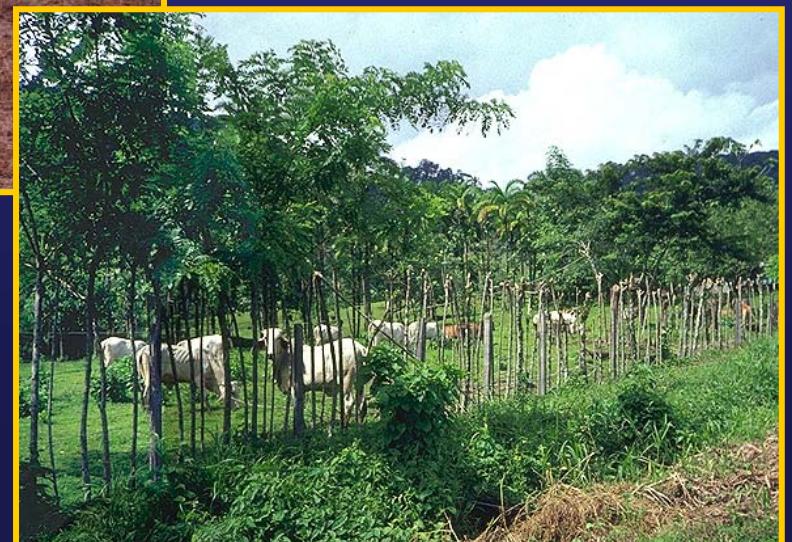


PC- 4 riego localizado





PC-8 cercas protectoras





PC-9 cortinas rompevientos





PC-10 senderos para el ganado



Selección de las prácticas de conservación de suelos

La primera selección de las prácticas de conservación de suelos se inicia dando respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Cual es la principal limitante para el uso agrícola de la tierra: la productividad del suelo, los riesgos de erosión, o ambos?
- ¿Cuales son los factores limitantes que afectan en mayor grado la respectiva calidad de tierra?:

<i>En relación con la productividad del suelo:</i>	<i>En relación con los riesgos de erosión:</i>
¿las relaciones agua-aire?	¿el potencial de escorrentía del suelo?
¿las resistencias mecánicas?	¿la agresividad de las precipitaciones?
¿la fertilidad potencial?	¿la pendiente del terreno ?

Prácticas de manejo y conservación de suelos que podrían utilizarse para mantener o mejorar su productividad:

Condición limitante en el suelo	Factor	Sub-Factor	Prácticas alternativas de manejo y conservación de suelos
Relaciones agua – aire	A	A ₁ (capacidad de agua útil)	MS-3, MS-4, MS-11, MS-12, MS-15, CE-3, CE-4, CE-5, CE-7, PC-3, PC-4
		A ₂ (capacidad de aireación)	MS-1, MS-5, MS-8, MS-10, MS-15, MC-7, CE-1, CE-2, CE-6, PC-2, PC-5, PC-6
Resistencias mecánicas a la exploración de raíces	B	B ₁ (compactación del suelo)	MS-2, MS-6, MS-7, MS-8, MS-10, MS-11, MS-12, MS-15
		B ₂ (fragmentos gruesos)	PC-1, MS-1, MS-2, MC-4, MC-6, MC-7, MC-8, MC-10, MC-11, MC-12
Fertilidad potencial	C	C ₁ (pH)	MS-9, MS-10, MS-11, MS-12, MS-13, MC-5, MC-7, MC-10, MC-11
		C ₂ (materia orgánica)	MS-10, MS-11, MS-12, MS-14, MC-7, MC-10, PC-7

Prácticas de manejo y conservación de suelos que podrían utilizarse para reducir los *riesgos de erosión*:

Condición limitante de la tierra	Factor	Prácticas alternativas de manejo y conservación de suelos
Potencial de escurrimiento del suelo	α	MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, MS-6, MS-7, MS-8, MS-10, MS-11, MS-12, MS-15, AE-1, AE-2, AE-3, AE-4, CE-1, CE-2, CE-6, CE-9, PC-5
Agresividad de las lluvias/ Pendiente del terreno	η	<p><u>Agresividad de las lluvias:</u> MS-3, MS-4, MS-5, MS-12, MC-1, MC-2, MC-3, MC-4, MC-5, MC-6, MC-8, MC-9, MC-10, MC-11, MC-12, MC-13</p> <p><u>Pendiente del terreno:</u> CE-8, LP-1, LP-2, LP-3, LP-4, GP-1, GP-2, GP-3, GP-4, PC-3, PC-4, PC-8, PC-10</p>



**Otras aplicaciones del modelo
Indice de Productividad (IP)
en la planificación de la conservación
de suelos en laderas**

Estimación de la Tolerancia a perdidas de suelo (T)

“La Tolerancia a pérdidas de suelo (T) es la máxima tasa anual de suelo removido por erosión que puede ocurrir y seguir permitiendo altos niveles de rendimiento económico de los cultivos”

(Bergsma et al., 1996)

(término equivalente: pérdida **permisible** de suelo)

Tradicionalmente, los cálculos de valores de *Tolerancia* (T) se han basado en:

- Tasas de renovación de los suelos.
- Determinaciones arbitrarias que toman en consideración principalmente la *profundidad del suelo*, así como otras propiedades que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas.

Valores de Tolerancia (T) en función de la profundidad del suelo (*Mannerling, 1981*)

Profundidad el suelo (cm)	Tolerancia (T) (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
0 - 25	0 – 4
25 – 50	4 – 8
50 – 100	8 – 12
100 – 150	12 – 16
150 – 200	16 – 20
> 200	> 20

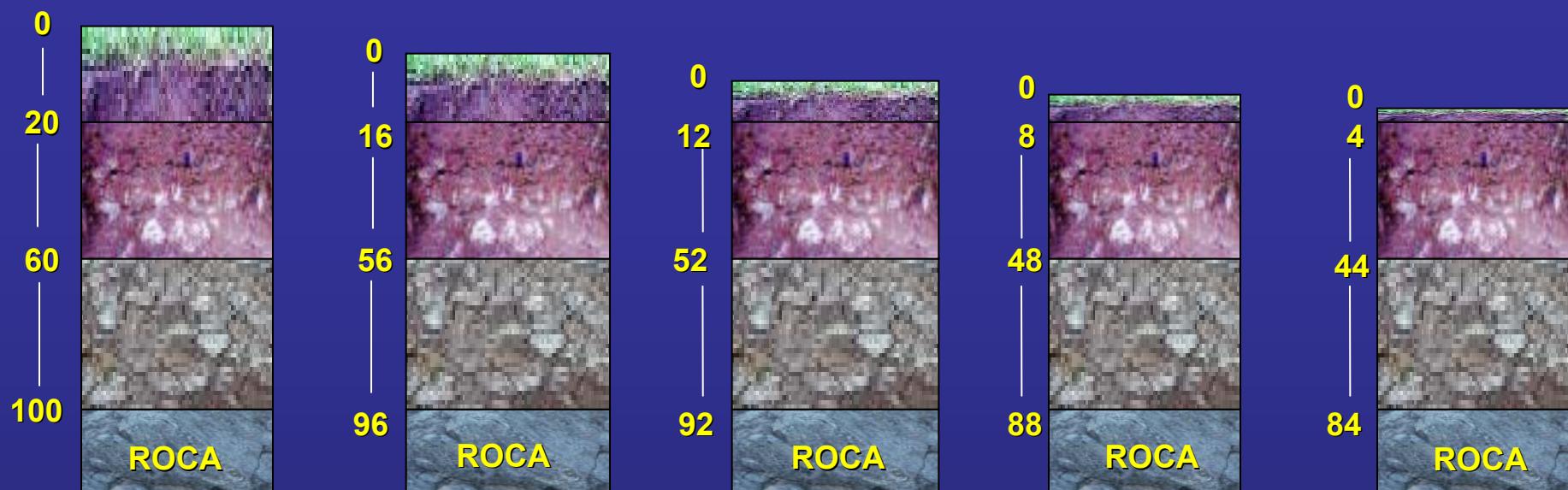
Las tasas de pérdida de suelo de 10 - 12 Mg. ha⁻¹. año⁻¹ que frecuentemente se utilizan como valores tolerables, son significativamente altas para la mayoría de nuestros suelos tropicales frágiles.



El método δ - H (*Delgado y López, 1998*)

En esta aproximación metodológica, la Tolerancia (T) se re-define en términos de las siguientes variables:

- Una tasa permisible de pérdida de *productividad del suelo*: δ (%)
- Un horizonte de planificación para el uso sustentable de la tierra: H (años)



$$t_0 \\ IP = 0.58$$

$$t_1 \\ IP = 0.50$$

$$t_2 \\ IP = 0.39$$

$$t_3 \\ IP = 0.27$$

$$t_4 \\ IP = 0.20$$

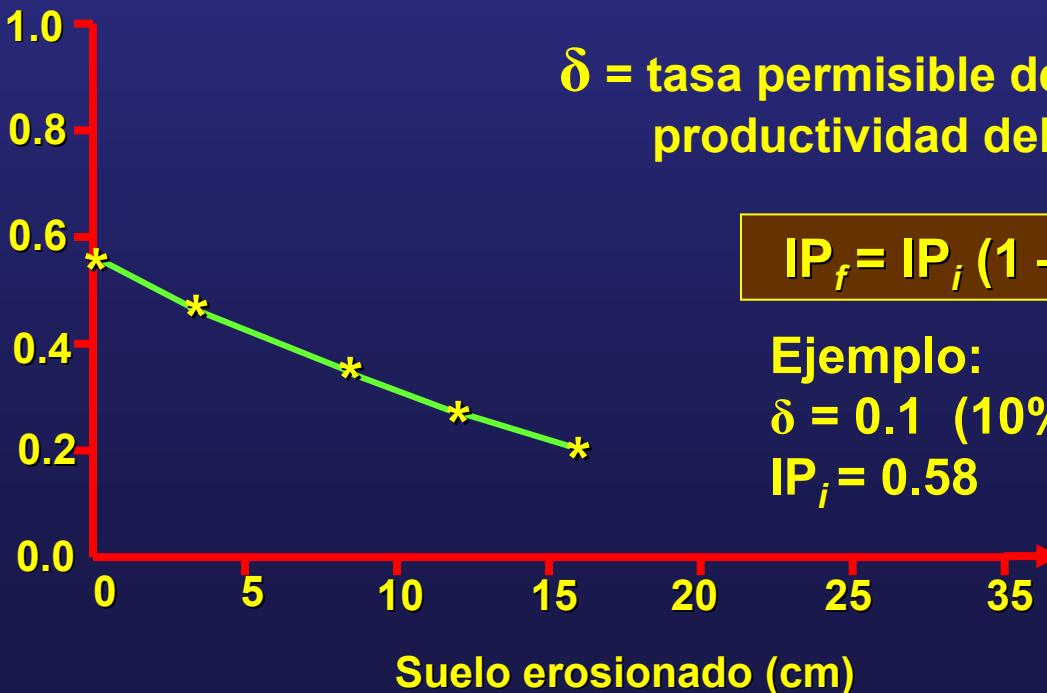
Indice de Productividad (IP)

δ = tasa permisible de pérdida de productividad del suelo (%)

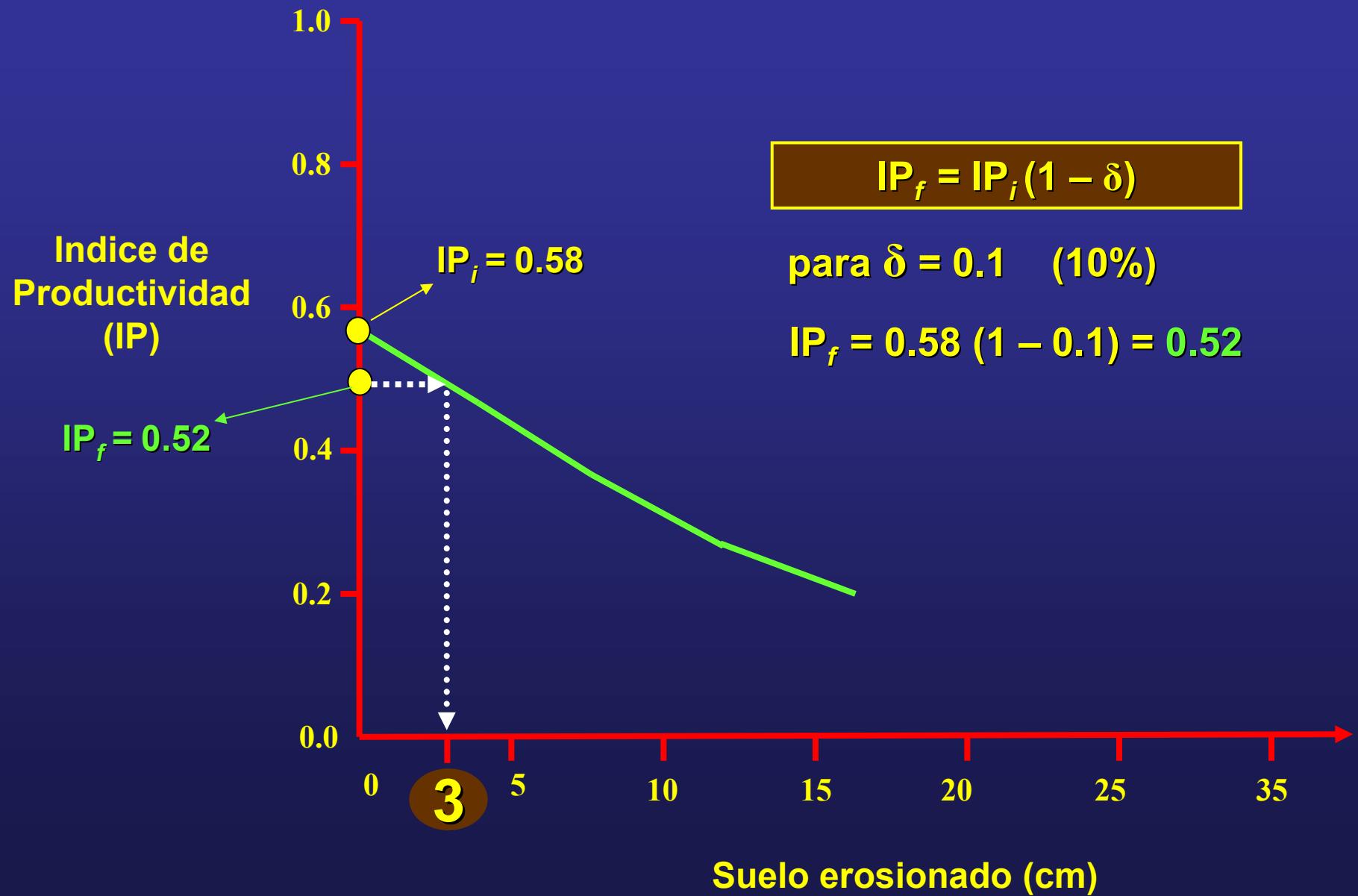
$$IP_f = IP_i (1 - \delta)$$

Ejemplo:
 $\delta = 0.1$ (10%)
 $IP_i = 0.58$

$$\rightarrow IP_f = 0.52$$



Curva de vulnerabilidad del suelo



Suelo erosionado = 3 cm → 10% pérdida de productividad

$$3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m} \times 10,000 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1} = 300 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$$

para una densidad aparente = 1.40 Mg.m⁻³

$$300 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1} \times 1.40 \text{ Mg.m}^{-3} = 420 \text{ Mg.ha}^{-1}$$

Horizonte de Planificación (H):

Tolerancia (T):

$$H = 50 \text{ años} \longrightarrow \frac{420 \text{ Mg.ha}^{-1}}{50 \text{ años}} = 8.4 \text{ Mg.ha}^{-1}. \text{ año}^{-1} \quad (T_{50})$$

$$H = 100 \text{ años} \longrightarrow \frac{420 \text{ Mg.ha}^{-1}}{100 \text{ años}} = 4.2 \text{ Mg.ha}^{-1}. \text{ año}^{-1} \quad (T_{100})$$

$$H = 200 \text{ años} \longrightarrow \frac{420 \text{ Mg.ha}^{-1}}{200 \text{ años}} = 2.1 \text{ Mg.ha}^{-1}. \text{ año}^{-1} \quad (T_{200})$$

T en función de δ y H

δ (%)	H (años)	T_H (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
10	25	16.8
	50	8.4
	100	4.2
	200	2.1
	500	0.8
	.	.
	.	.
	∞	0 
	25	14.0
	50	7.0
5	100	3.5
	200	1.7
	500	0.7
	.	.
	.	.
	∞	0 

Valores de Tolerancia (T) ($Mg.ha^{-1}.año^{-1}$) para dos tasas de pérdida de productividad permisible (δ) y dos horizontes de planificación (H), en tres sectores de “Las Playitas”, Estado Mérida, Venezuela.

sector 1				sector 2				sector 3			
$IP_i = 0.227$				$IP_i = 0.304$				$IP_i = 0.365$			
$\delta = 5\%$		$\delta = 10\%$		$\delta = 5\%$		$\delta = 10\%$		$\delta = 5\%$		$\delta = 10\%$	
T_{100}	T_{200}	T_{100}	T_{200}	T_{100}	T_{200}	T_{100}	T_{200}	T_{100}	T_{200}	T_{100}	T_{200}
3.76	1.88	7.47	3.73	2.65	1.32	5.25	2.63	3.73	1.87	7.43	3.71

La Tolerancia a pérdidas de suelo (T) no es un valor absoluto. El valor dependerá de la tasa permisible de pérdida de productividad del suelo (δ), así como del horizonte de sustentabilidad (H) adoptado, que a su vez dependerán ambos de factores socio-económicos y políticos.

Esta aproximación metodológica permite obtener una familia de valores de Tolerancia (T), útil para planificar la conservación de suelos bajo diferentes escenarios socio-económicos y de uso de la tierra.

A wide-angle photograph of a mountainous landscape. In the foreground, there's a large, green, grassy field with some small white flowers. A narrow, rocky stream or river bed cuts through the center of the field. In the middle ground, a valley opens up, showing more green fields and a few small buildings. The background consists of two large, steep hills or mountains covered in sparse vegetation and rocky terrain. The sky is overcast and grey.

¡..Muchas gracias...!!!