

# **Evaluación de la Fertilidad del Suelo**

**Ing. Agr. (MSc.) José Martín Bordoli  
Facultad de Agronomía  
Universidad de la República  
Uruguay**

# **COMO LLEGAR A RECOMENDAR** **DOSIS DE FERTILIZACIÓN:**

- **La nutrición mineral es uno de los factores que afectan el crecimiento y desarrollo vegetal.**
- **La fertilización es un complemento al aporte de nutrientes que hace el suelo.**
- **A) SE DEBE MODIFICAR EL NIVEL DE FERTILIDAD DEL SUELO?.**
- **B) EN CASO DE MODIFICARLO, CUANTIFICAR CON CUANTO, COMO, Y EN QUE MOMENTO HACERLO.**

# PASOS METODOLÓGICOS:

- **1) CARACTERIZAR LA RESPUESTA VEGETAL AL SUMINISTRO DE NUTRIENTES (Funciones de respuesta).**
- **2) EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO.**
  - Selección de análisis de suelo.
  - Calibración de análisis de suelos.
  - Análisis de suelos.
  - Análisis de plantas.
- **3) FORMAS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES**
- **4) RECOMENDACIÓN DE DOSIS DE FERTILIZANTES**

# **EVALUACIÓN de la FERTILIDAD de los SUELOS**

- 1.- Introducción. Diferentes métodos.**
- 2.- Síntomas de deficiencia.**
- 3.- Índices de asimilabilidad.**
- 4.- Análisis de Suelo.**
  - Selección de métodos.**
  - Calibración de métodos.**
- 5.- Factores que afectan las recomendaciones.**
- 6.- Análisis foliar o de plantas.**

# INTRODUCCIÓN: MÉTODOS de EVALUACIÓN de la FERTILIDAD

- 1.- Síntomas de deficiencia. (X)**
  - 2.- Ensayos biológicos con plantas superiores:**
    - Invernáculo.**
    - Campo.**
  - 3.- Análisis rápidos de suelo. (X)**
  - 4.- Análisis y test en tejidos vegetales. (X)**
- **(X) Métodos para asesoramiento a agricultores.**

# **BASES para el USO RACIONAL del ANÁLISIS DE SUELO**

- 1.-Muestreo adecuado de suelo  
Submuestreo.**
- 2.-Selección de los métodos.**
- 3.-Calibración de los resultados.**
- 4.-Laboratorio eficiente.**
- 5.-Interpretación de los resultados  
y elaboración de las  
recomendaciones de fertilización.**

# Introducción

- TIPOS de ANÁLISIS DE SUELO:
- Caracterización de suelos.
- Evaluación de fertilidad

# ANÁLISIS DE SUELO:

**Black (1993):**

- **Análisis de suelo:** medida realizada en el suelo con varios propósitos (soil analysis).
- **Restringido:** Medida realizada en el suelo para evaluar la fertilidad y manejarla
- **Tipos:**
  - -Caracterización de suelos.
  - -Evaluación de fertilidad (soil testing)



## Métodos para evaluar la fertilidad o Soil testing (es diferente a Soil analysis):

- **análisis químico rápido (barato, y repetible) para medir el estatus de nutriente del suelo, que implica e incluye la interpretación, evaluación y recomendación de fertilizantes basado en ese valor analítico y otras consideraciones.**

## Objetivos del Análisis de suelo para evaluar la fertilidad (Soil testing):

- El propósito del “soil testing” es agrupar los suelos con el fin de hacer recomendaciones de aplicaciones de fertilizantes y caliza.

**(Melsted y Peck, 1973)**

**Los objetivos de un programa de servicio de análisis de suelo pueden resumirse en:**

- determinar el estatus de nutriente disponible en el suelo.**
- determinar claramente niveles de deficiencia, suficiencia o exceso para los diferentes cultivos.**
- determinar las necesidades de fertilización, expresando los resultados de manera que permitan la evaluación económica y recomendación de fertilizantes.**

## Para esto el programa requiere conocer:

- Las formas químicas de los nutrientes disponibles que son significativas para el crecimiento vegetal.
- los extractantes o mejores métodos para asegurar la medida de las formas disponibles en el suelo. (seleccionar los métodos de análisis).

## Para esto el programa requiere .....

- conocer la capacidad relativa de los suelos para la producción de los diferentes cultivos.**
- conocer la respuesta diferencial de los distintos cultivos a las diferentes dosis y formas de aplicación de fertilizantes en los distintos suelos de la región (calibrar).**
- conocer las técnicas adecuadas de muestreo de los suelos.**

# **BASES para el USO RACIONAL del ANÁLISIS DE SUELO**

- 1.-Muestreo adecuado de suelo  
Submuestreo.**
- 2.-Selección de los métodos.**
- 3.-Calibración de los resultados.**
- 4.-Laboratorio eficiente.**
- 5.-Interpretación de los resultados  
y elaboración de las  
recomendaciones de fertilización.**

## 2) SELECCION DE LOS METODOS

- **Seleccionar entre los diferentes métodos aquellos que expresen con más exactitud la disponibilidad de nutrientes, para los suelos existentes en la zona.**
- **La selección se realiza evaluando las correlaciones de los valores obtenidos por los distintos métodos con características vegetales asociadas al suministro de nutrientes por parte del suelo (Indices de Asimilabilidad).**

# INDICES DE ASIMILABILIDAD o DISPONIBILIDAD

- **Medidas relacionadas al crecimiento o a la absorción de nutrientes por las plantas, realizadas en ensayos de invernáculo o campo.**
- **Concepto de disponibilidad:**
  - Para describir el suministro de nutrientes por parte del suelo se usa comunmente el término disponible o disponibilidad.**
  - Disponible: susceptible a ser absorbido por las plantas.**
  - Disponibilidad: efectiva cantidad.**



- La disponibilidad (cantidad) absoluta no puede ser evaluada.
- El objetivo de los métodos biológicos (“índices de asimilabilidad”) es estimar relaciones de disponibilidad o valores proporcionales a la disponibilidad. Estos son llamados “índices de disponibilidad de nutrientes” (Black, 1993).
- El concepto de disponibilidad es definido en términos de “disponible para las plantas”, por lo cual los índices deben hacerse usando plantas superiores (Black, 1993).

# INDICES DE ASIMILABILIDAD

- **Medidas relacionadas al crecimiento o a la absorción de nutrientes por las plantas, realizadas en ensayos de invernáculo o campo.**

# INDICES DE ASIMILABILIDAD

## 1.-Medidas de rendimiento en M.S. o producto.

- “b” de Mitscherlich
- extrapolación de ecuaciones polinomiales (cuadrática, etc).

## 2.-Medidas de nutriente absorbido

- Método de Neubauer.
- Método de Stanford y De-Ment.
- Valor “a” de Dean.

## 3.- Medidas con isótopos o radio-isótopos

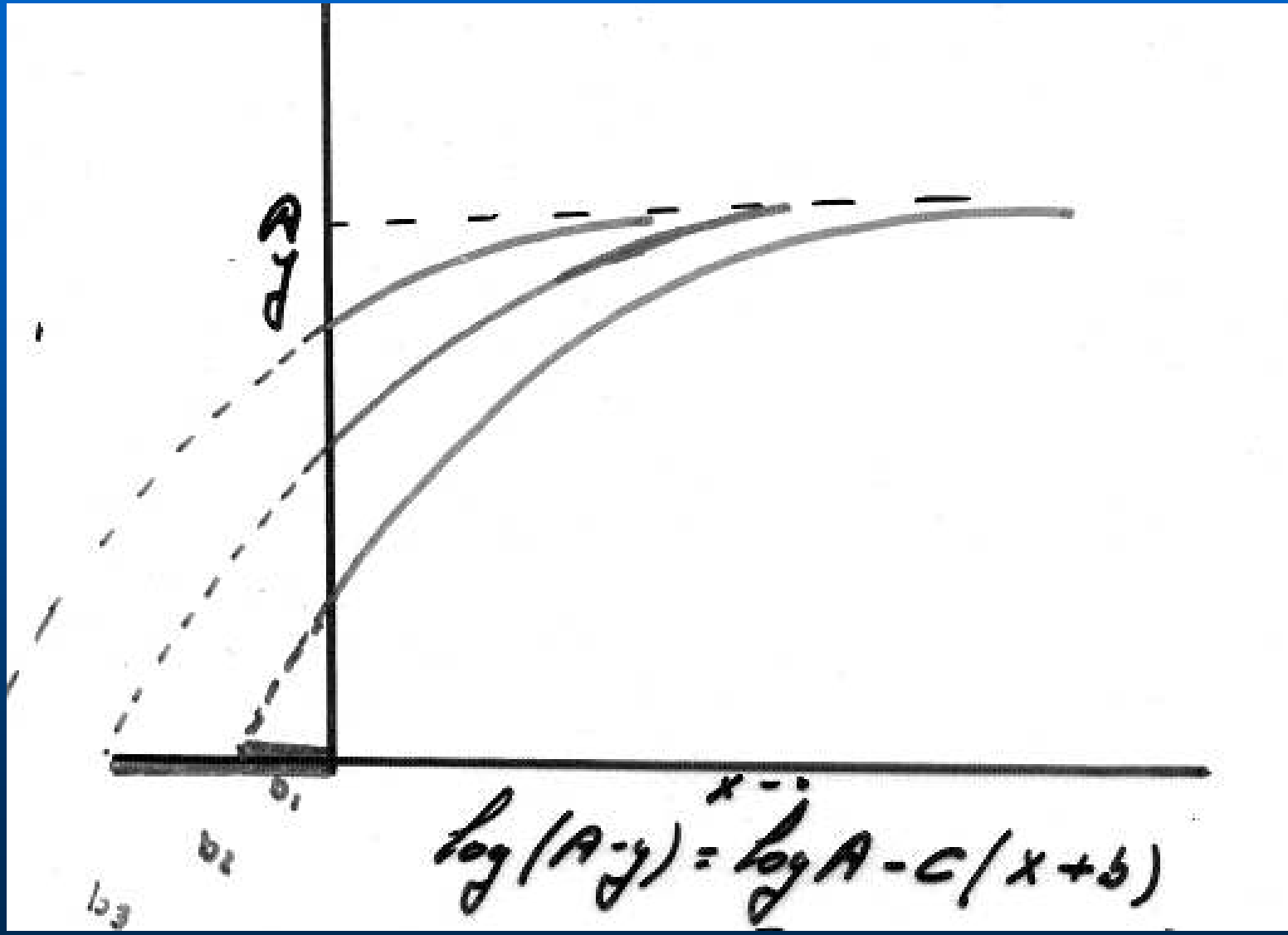
- Valor “A” de Fried y Dean.

# 1.-Medidas de rendimiento en M.S. o producto.

-“b” de Mitscherlich

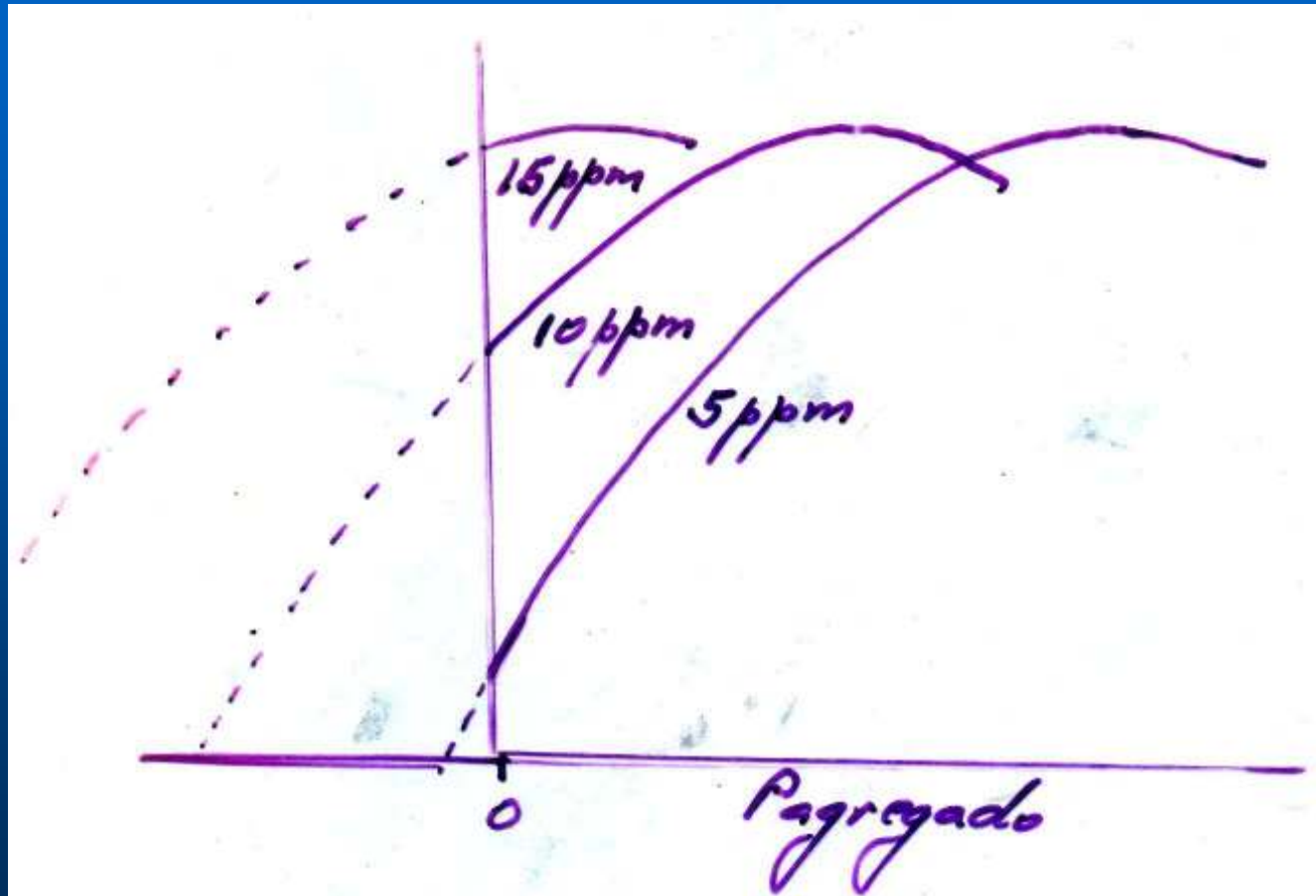
$$\log (A-y) = \log A - c (x+b)$$

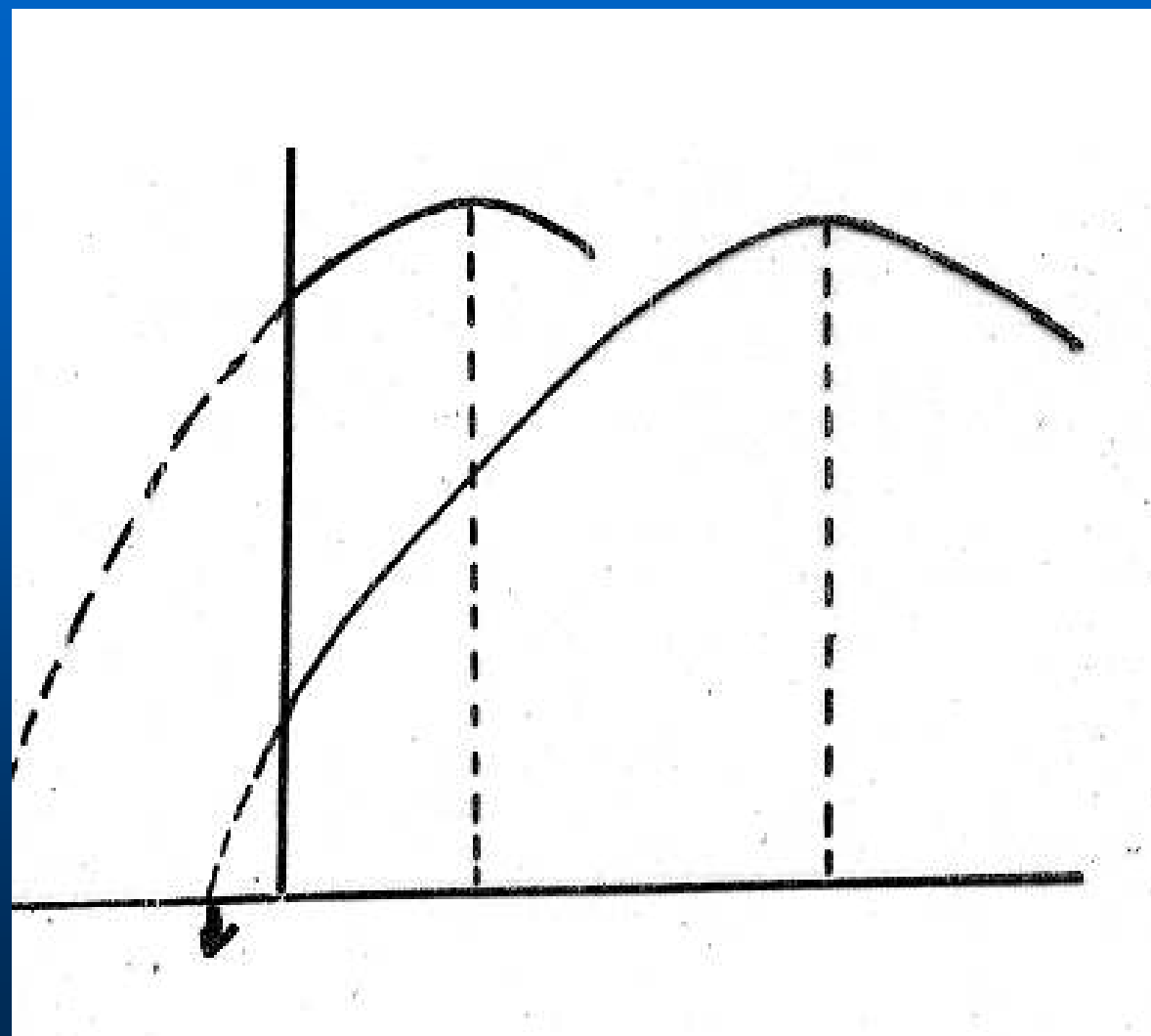
-extrapolación de ecuaciones polinomiales (cuadrática, raíz cuadrada, etc).



$$\log(A-y) = \log A - C/(x+b)$$

# Nivel inicial de nutriente en el suelo.





## 2. Medidas de nutriente absorbido

### a) Métodos directos

- Método de Neubauer y Scheineider (1923)**. Nutriente extraído por gran número de plantas (100 plántulas de centeno), en breve período (17 días), de un pequeño volumen de suelo (100 gr de suelo + 50 gr arena).
- Método de Stanford y DeMent (1957, 1959)**. (Variaciones del anterior: absorción de las plántulas en 100-200 gr suelo por 15-20 días).
- Mitchell (1934), etc.** Standard externo; fertilizantes con arena y compara absorción de las plantas con la realizada desde el suelo.



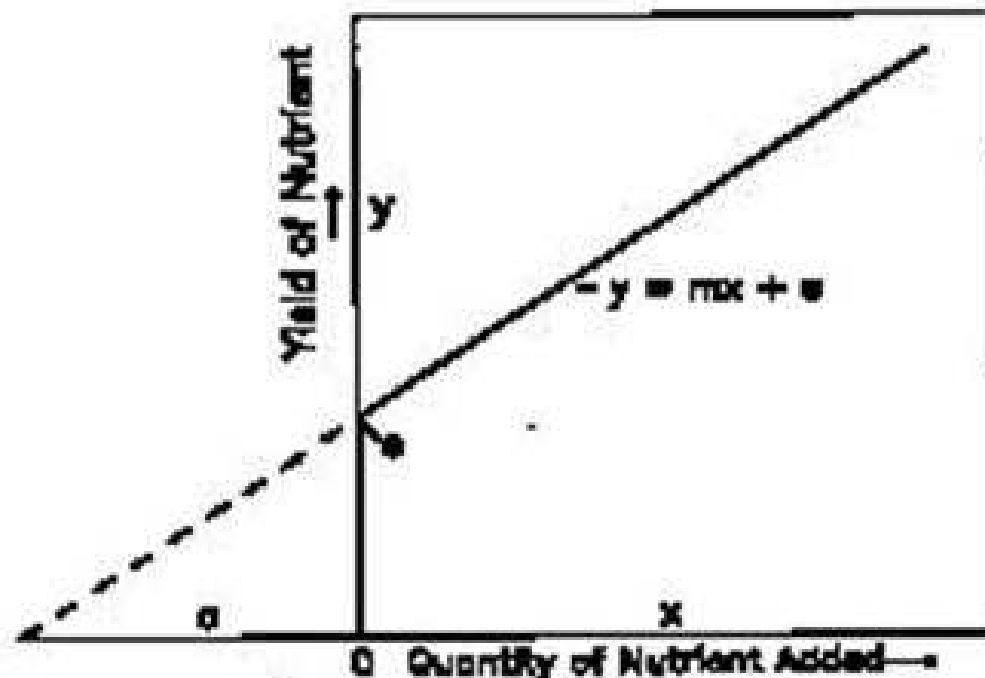
## **b) Métodos de Standard interno**

**(Agregan fertilizantes)** (también agregan fertilizantes la b de Mitscherlich, radio isótopos, etc)

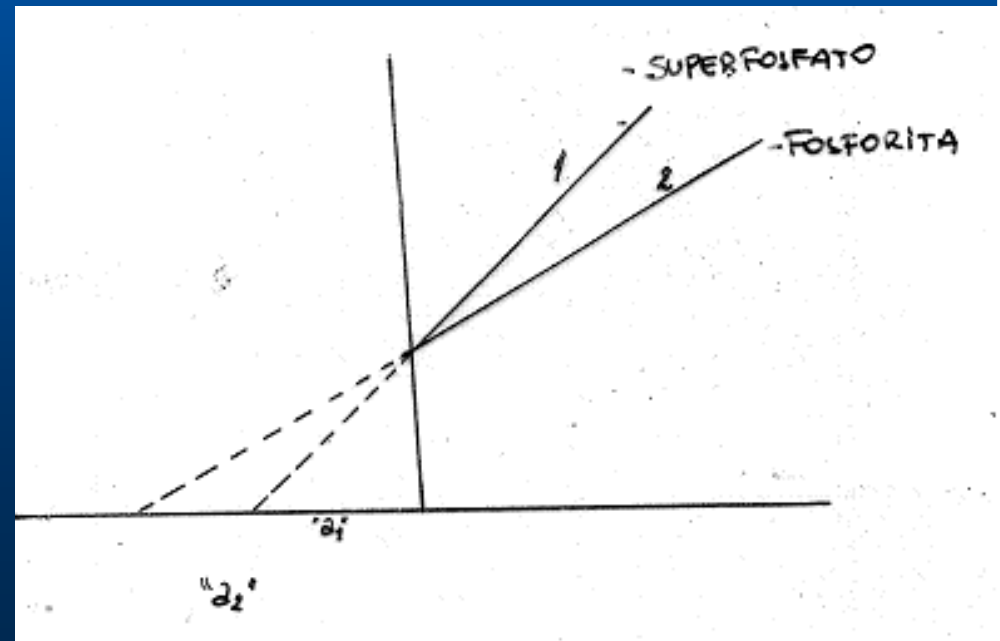
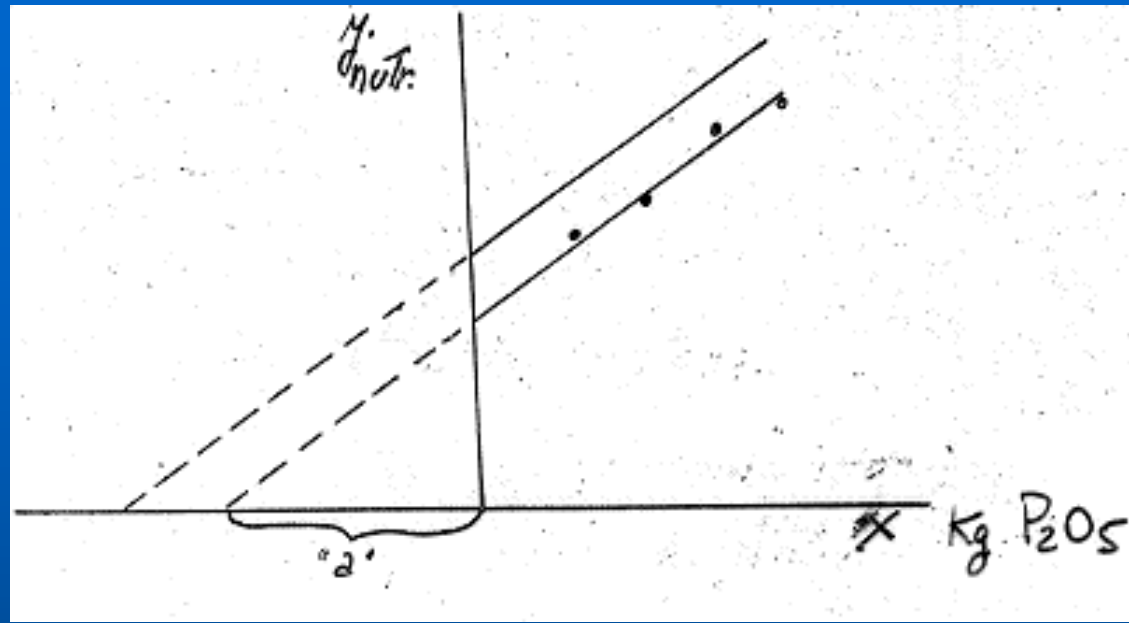
**-Valor "a" de Dean (1954).**

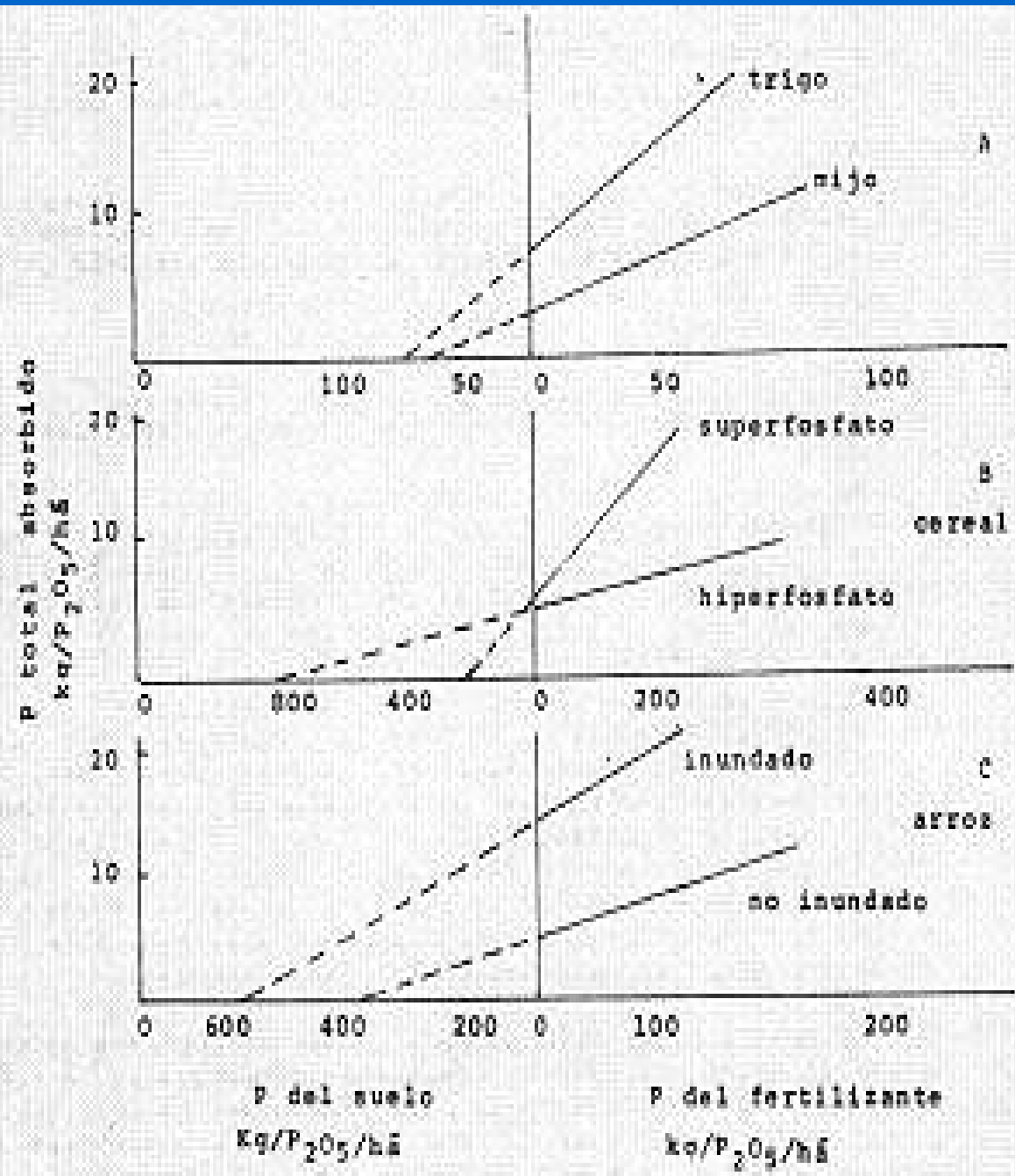
- **Relación lineal entre nutriente absorbido por las plantas y fertilizante agregado.**
- **Se mide nutriente directamente y no otra característica asociada al suministro. La respuesta en rendimiento está menos asociada al suministro que la absorción de nutriente.**
- **El rendimiento en nutriente es más sensible a los cambios de disponibilidad (sobre todo a alta disponibilidad) que el rendimiento de MS.**

# Valor “a” de Dean



**Fig. 4-4.** Schematic representation of the *a* value method for deriving an index of nutrient availability by extrapolating the linear relationship often obtained between the yield of a nutrient in the crop and the quantity of the nutrient applied in the fertilizer. The *a* value is the negative distance on the *x* axis from zero fertilizer to the intersection of the extrapolated yield of nutrient with the *x* axis. (Dean, 1964)





### 3. Medidas con isótopos o radio-isótopos

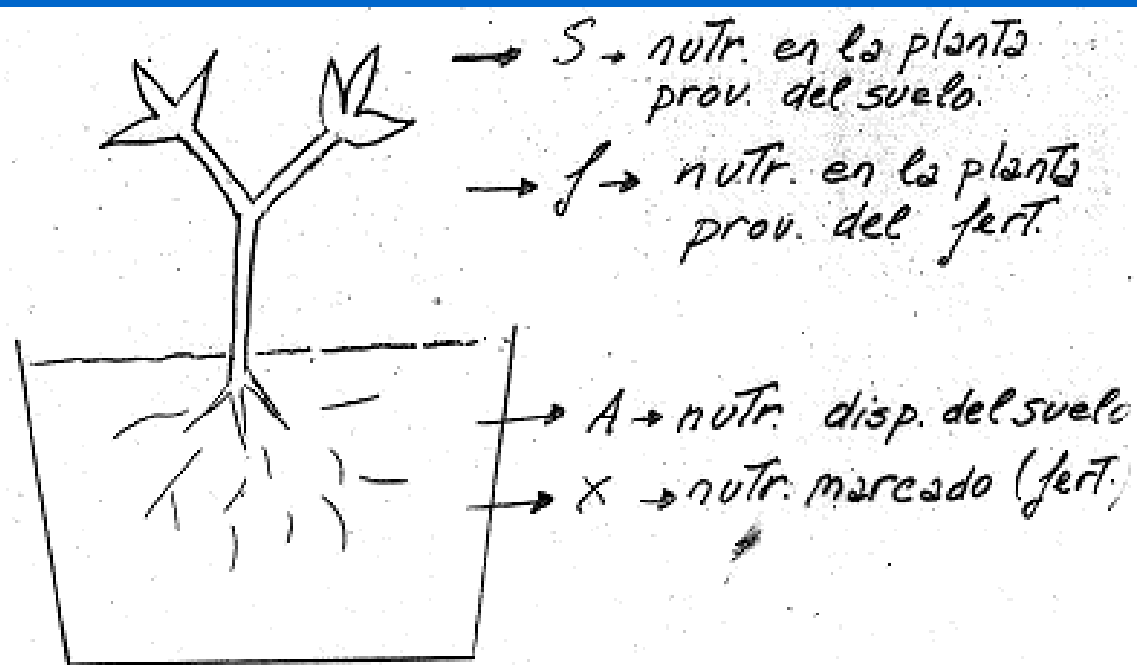
**Valor "A" de Fried y Dean (1952).**

**S = nutriente en la planta que proviene del suelo.**

**f = nutriente en la planta que proviene del fertilizante.**

**A = nutriente disponible en el suelo.**

**X = nutriente del fertilizante (marcado)**



$$\frac{S}{f} = \frac{A}{x} \quad \therefore A = \frac{S \cdot x}{f}$$

en proporción  $\Rightarrow A = \frac{x(1-y)}{f}$

$$\begin{aligned} \therefore f &= y \\ \therefore S &= 1-y \end{aligned}$$

- Las plantas absorben nutrientes de la fuente suelo y fertilizante en igual proporción a sus disponibilidades o cantidades efectivas:

$$S / f = A / X$$

$$A = S X / f$$

- En proporción: (si  $f = y$ ;  $S = 1 - y$ )

- $A = x (1 - y) / y$

- **Ejemplo:**

- $X = 50$  kg/ha super
- $Y = 20\%$

$$A = 50 (1 - 0.2) / 0.2 = 200 \text{ Kg/ha}$$

# Valor A: Fried and Dean (1952):

La efectiva cantidad de nutriente (A) se calcula:

- $A = x (1-y) / y$
- Donde x es la cantidad de nutriente agregado en el fertilizante, e y es la proporción del nutriente derivado del fertilizante que se encuentra en la planta.



# Valores A con diferentes dosis de fertilizante

Dosis $P_2O_5$ Lb/acre	Suelo I		Suelo II	
	Y	Valor A	Y	Valor A
25	8.5	59	4.5	22
50	9.8	50	7.1	22
75	10.6	58	7.8	24
100	12.5	61	10.3	23

# Valores A con diferentes dosis de fertilizante

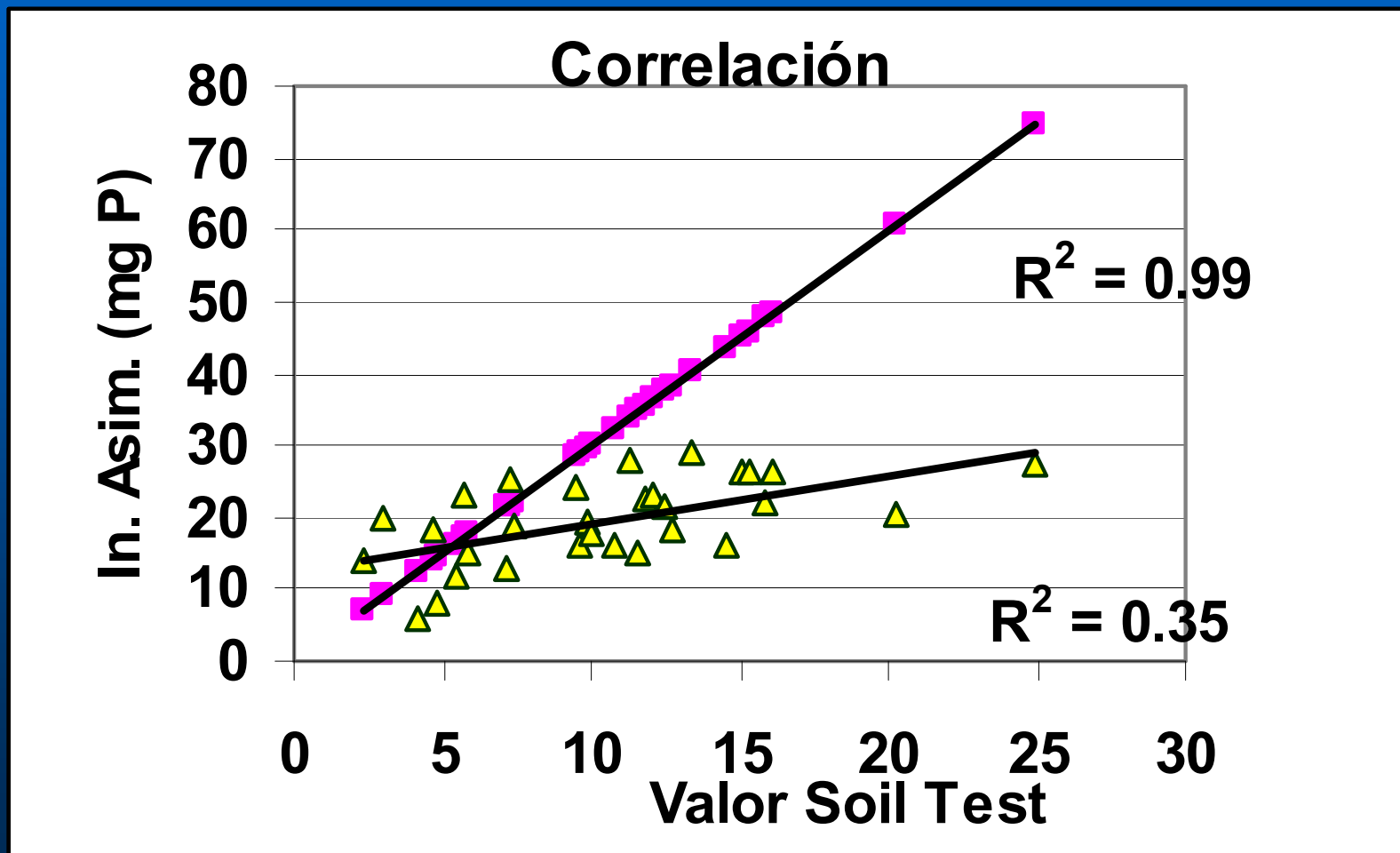
**Table 4-1. A Values for Calcium Obtained in a Greenhouse Experiment With Oat Plants Grown on Soils to Which Different Quantities of Calcium Sulfate Tagged With Calcium-45 Had Been Added (Fried and Dean, 1952)**

Calcium Sulfate Added, mg·kg <sup>-1</sup>	A Value Found for Calcium, mg·kg <sup>-1</sup>		
	Low-Calcium Soil	Medium-Calcium Soil	High-Calcium Soil
38	432	605	1230
75	486	576	1210
150	451	587	1250
300	491	597	1330
<b>Average A Value, mg·kg<sup>-1</sup></b>	<b>465</b>	<b>591</b>	<b>1260</b>
<b>Exchangeable Calcium, mg·kg<sup>-1</sup></b>	<b>392</b>	<b>562</b>	<b>1070</b>
<b>A Value/Exch. Calcium</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>

**-Los valores A se mantienen “casi” constantes al variar la cantidad de fertilizante, pero cambian con la forma de aplicación (y/o fuente de fertilizante).**

- **La selección de métodos de análisis de suelo puede hacerse en invernáculo o en el campo**
- **En el caso de N la selección debería hacerse con ensayos de campo.**

# Correlaciones : seleccionar el método de mayor correlación con los distintos índices de asimilabilidad.



# Selección de Métodos de estimación de P “asimilable”

- Tesis de Casanova, Genta, y Mallarino.
- Métodos: Bray N°1; Olsen; North Carolina (Mehlich 1); Resinas Catiónicas (L.E.), y Egner.
- 26 suelos del Uruguay.
- Índices de asimilabilidad:
  - Rendimiento en materia seca (y)
  - P total absorbido (P total abs.)
  - Rendimiento relativo (RR%)
- Ensayo macetero en invernáculo. Cultivo: sorgo.

**a) Correlación ( r ) métodos y fracciones de Chang y Jackson:**

Método	Correlación ( r ) con las fracciones		
	P- Ca	P - Al	P - Fe
Bray N°1	0.04	0.80**	0.44+
Olsen	0.12	0.83**	0.47+
Resinas LE	0.46**	0.81**	0.34
N. Carolina	0.18	0.77**	0.48*
Egner	0.23	0.82**	0.15

**Significación de r: 10%=+; 5%= \*; 1%= \*\***

**b) Correlación entre P total absorbido y las fracciones.**

	<b>P- Ca</b>	<b>P - Al</b>	<b>P - Fe</b>
<b>P total abs.</b>	<b>0.30</b>	<b>0.70</b>	<b>0.55</b>



### c) Correlación entre métodos:

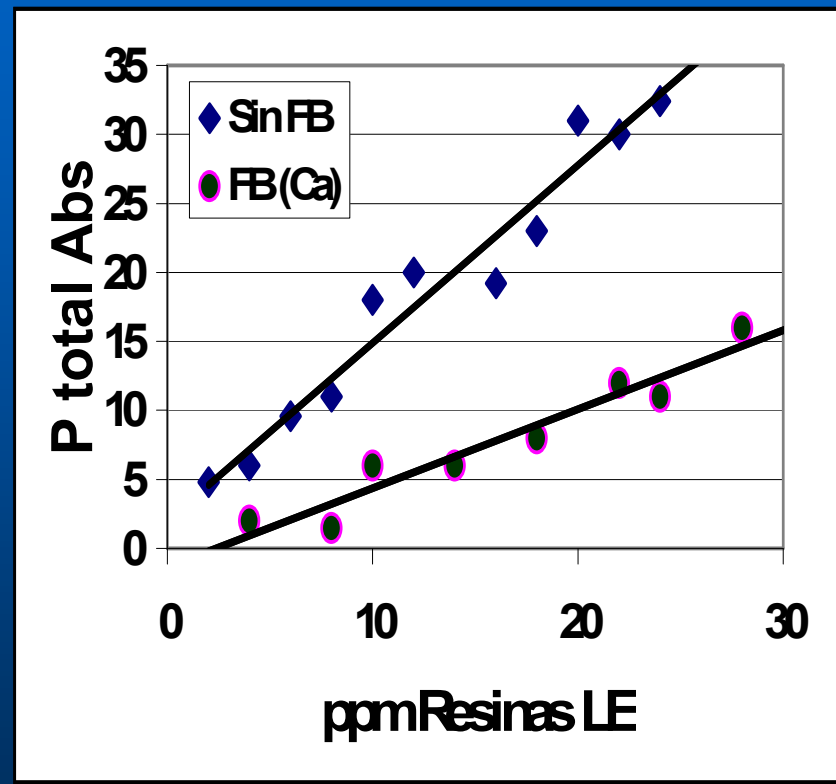
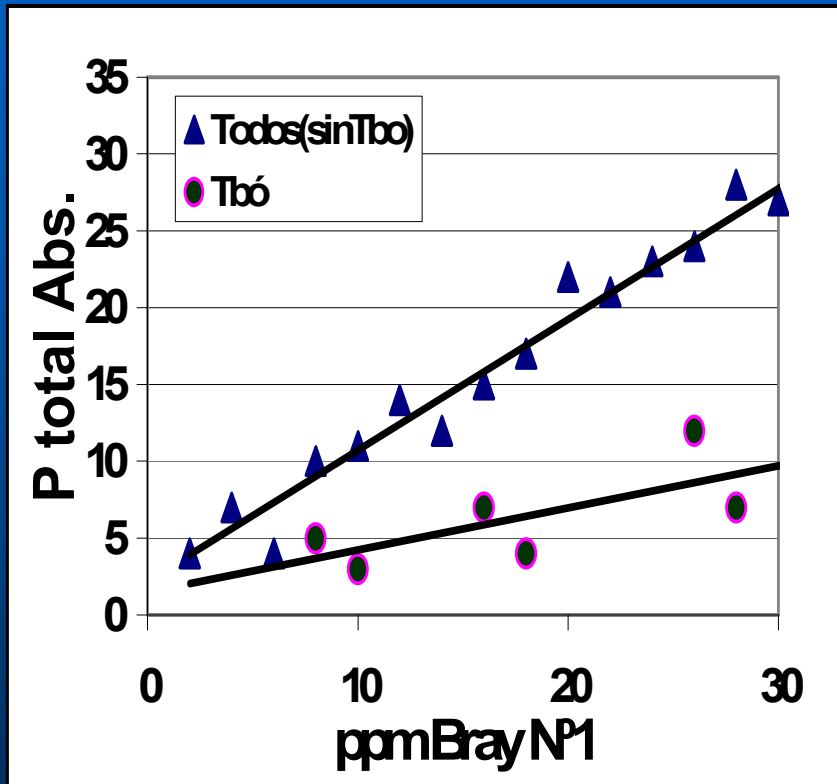
	<b>Bray Nº1</b>	<b>Olsen</b>	<b>Resinas</b>	<b>N. Carolina</b>
<b>Egner</b>	<b>0.80</b>	<b>0.82</b>	<b>0.84</b>	<b>0.82</b>
<b>N.Carolina</b>	<b>0.91*</b>	<b>0.92</b>	<b>0.84</b>	
<b>Resinas</b>	<b>0.66 ¿?</b>	<b>0.70</b>		
<b>Olsen</b>	<b>0.98</b>			

## d) Correlación métodos e índices de asimilabilidad (todos los suelos)

	<b>Y MS</b>	<b>P total</b>	<b>RR%</b>
<b>Bray N°1</b>	<b>0.68</b>	<b>0.73**</b>	<b>0.74</b>
<b>Olsen</b>	<b>0.71</b>	<b>0.76**</b>	<b>0.76</b>
<b>Resinas</b>	<b>0.87</b>	<b>0.90**</b>	<b>0.85</b>
<b>N.Carolina</b> <b>a</b>	<b>0.79</b>	<b>0.89**</b>	<b>0.84</b>
<b>Egner</b>	<b>0.73</b>	<b>0.73**</b>	<b>0.79</b>

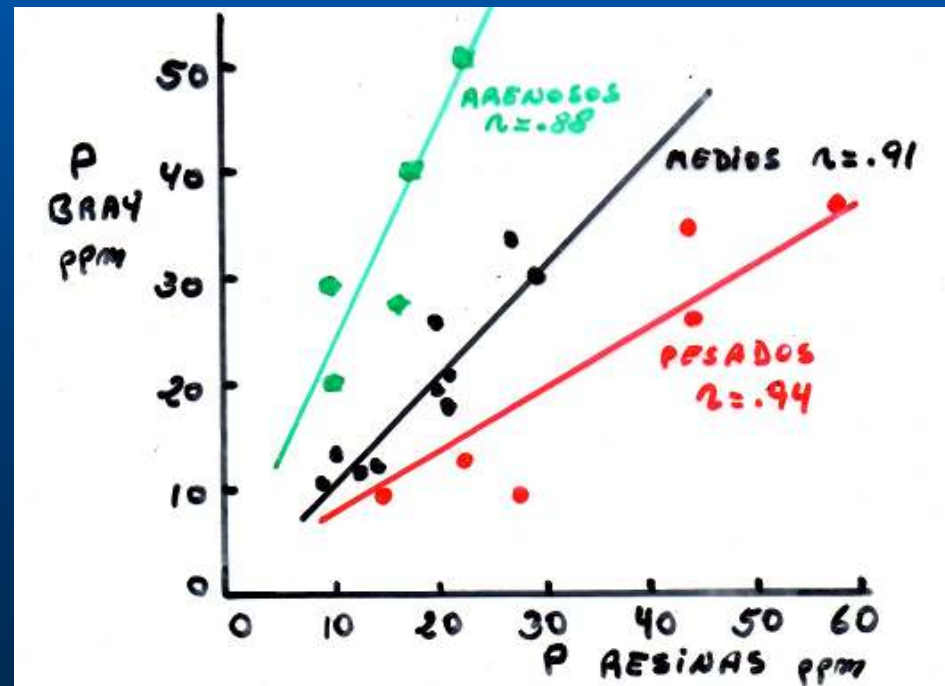
## e) Correlación métodos y P total absorbido por las plantas de sorgo (IA) en diferentes tipos de suelos

	P total	Ptotal (sin Tbó)	Ptotal (Tbó)	P total (sin FB)	Ptotal (FB)
Bray N°1	0.73**	0.98**	0.52		
Olsen	0.76**	0.98**	0.56		
Resinas	0.90**	0.90**	0.80+	0.96**	0.96**
N.Carolina	0.89**	0.96**	0.63		
Egner	0.73**	0.82**	0.58		
Significación de r: 10%=+; 5%= *; 1%= **					



## P EXTRAÍDO POR DISTINTOS METODOS DE ANÁLISIS

SUELOS	METODO (ppm)		
	GRAY	RESINAS	N. CARALLINA
ARENOSOS	33	15	17
MEDIOS	19	18	13
PESADOS (Ca)	21	35	16



# **BASES para el USO RACIONAL del ANÁLISIS DE SUELO**

- 1.-Muestreo adecuado de suelo  
Submuestreo.**
- 2.-Selección de los métodos.**
- 3.-Calibración de los resultados.**
- 4.-Laboratorio eficiente.**
- 5.-Interpretación de los resultados  
y elaboración de las  
recomendaciones de fertilización.**

## **2.- CALIBRACION DE LOS METODOS**

- **Dar a los resultados de análisis de suelo un significado en términos de respuesta a la fertilización.**
- **Es establecer una relación cuantitativa entre datos de análisis de suelo y respuesta a la fertilización.**

**Una vez calibrado un método, para un cultivo, en una zona con ciertos tipos de suelo, se podrá responder:**

- **Es suficiente la cantidad de nutriente disponible en el suelo para lograr el nivel de rendimiento deseado?**
- **En caso que sea insuficiente, que dosis es necesario agregar con la fertilización para obtener el rendimiento deseado?**
- **La calibración es una tarea regional, es necesario calibrar para cada cultivo, en cada tipo de suelo, etc.**



# **INFORMACION BASICA PARA CALIBRAR UN MÉTODO**

- 1.- Mapeo y caracterización de los tipos de suelos de la región.**
- 2.- Estudio de características climáticas de la región.**
- 3.- Estudios previos de selección de métodos para los distintos suelos.**
- 4.- Estudios de campo de diferentes variables discretas controladas (variedades, manejo del cultivo, formas de fertilización, control malezas, etc.) para fijarlas en los ensayos regionales de calibración.**

## 5.-Ensayos de respuesta en el campo.

- Ensayos a campo: Tipo I  
Tipo II
- Amplio número de sitios y años experimentales.
- Sitios con amplio rango de disponibilidad de nutrientes.
- Distribución de sitios con diferente disponibilidad.
- Ensayos de campo de corto o largo plazo (Cope y Rouse, 1973).
  - Factores no evaluados a niveles óptimos
    - variables discretas y controladas
    - variables cuantitativas que pueden evaluarse.

**6.- Análisis de suelo de cada sitio experimental**

**7.-Capacidad de procesamiento estadístico de datos**

# METODOS DE CALIBRACIÓN

## 1-Métodos sencillos

- Requieren información de ensayos de campo Tipo I
- Sólo contestan si es suficiente el nivel de nutriente en el suelo para lograr el nivel de rendimiento deseado.
- Determinan niveles o rangos críticos.

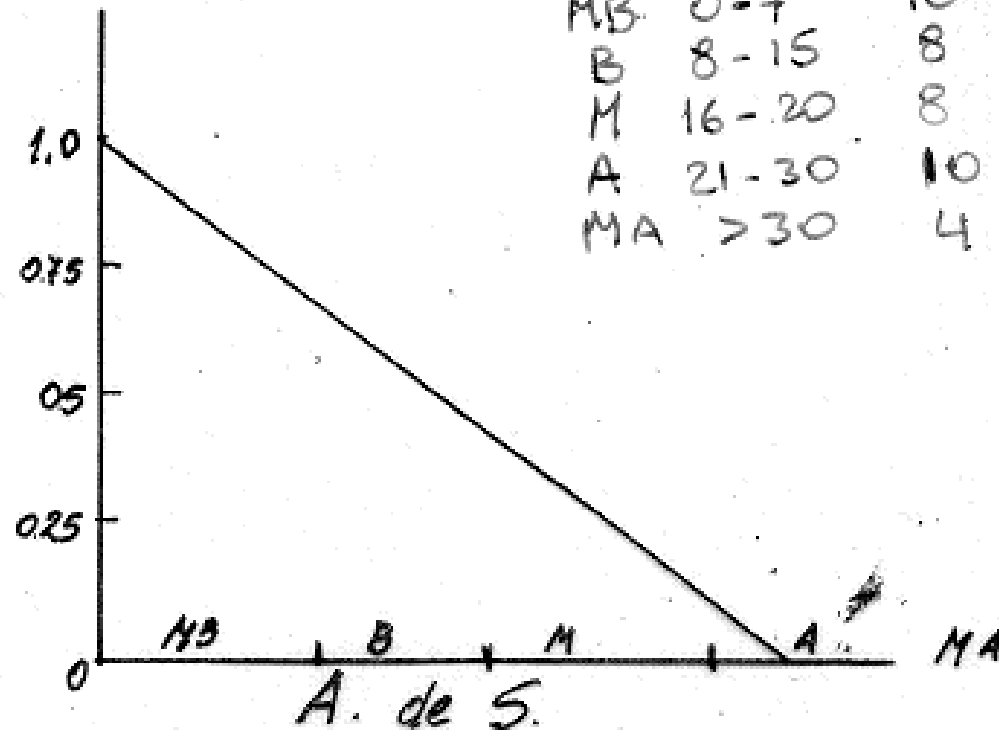
- **1.1) Probabilidades de respuesta**  
(Fitts, 1955).
- **1.2) Incremento de rendimiento.**
- **1.3) Modelo lineal -plateau**
  - Método gráfico.
  - Método matemático.

# 1.1) Probabilidades de respuesta (Fitts, 1955).

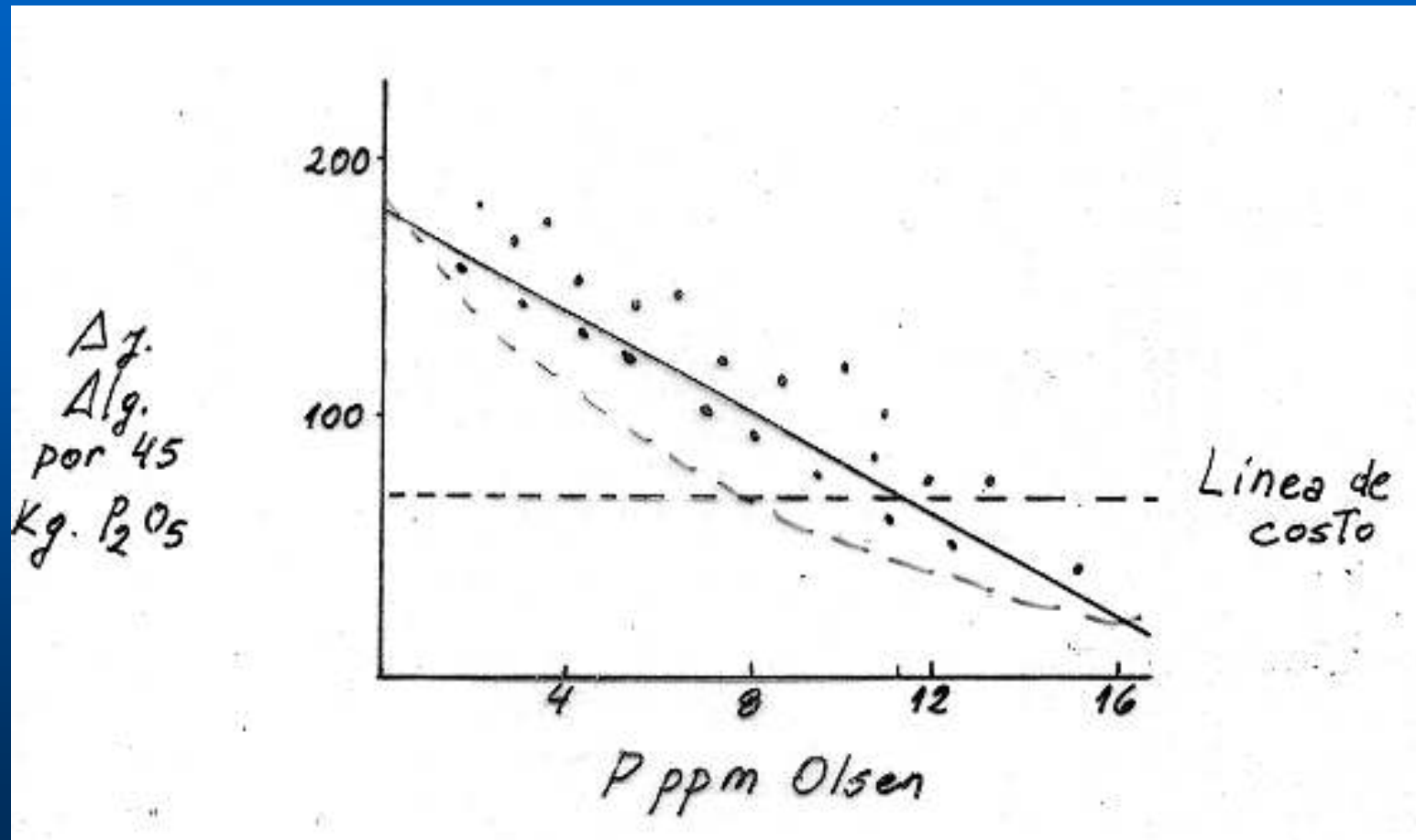
1- Prob. de respuesta.

CLASE	PPM	Nº ens.	CON Resp.	Prob.
MB	0-7	10	10	1.0
B	8-15	8	6	0.75
M	16-20	8	4	0.5
A	21-30	10	1	0.1
MA	>30	4	0	0.0

Prob. de resp.

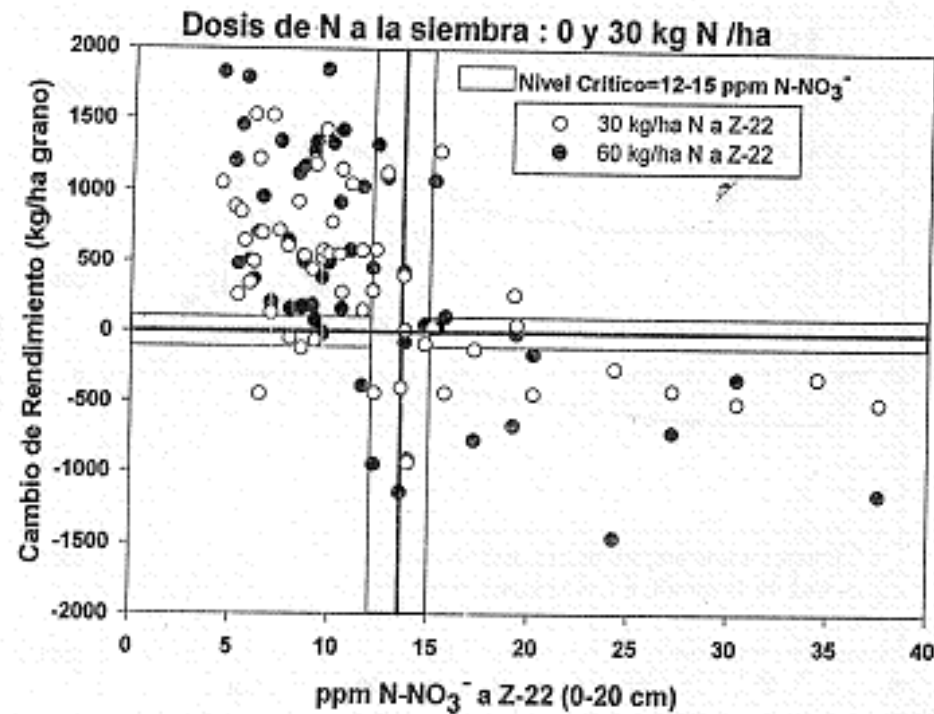


## 1.2) Incremento de rendimiento



# Incremento de rendimiento Cebada

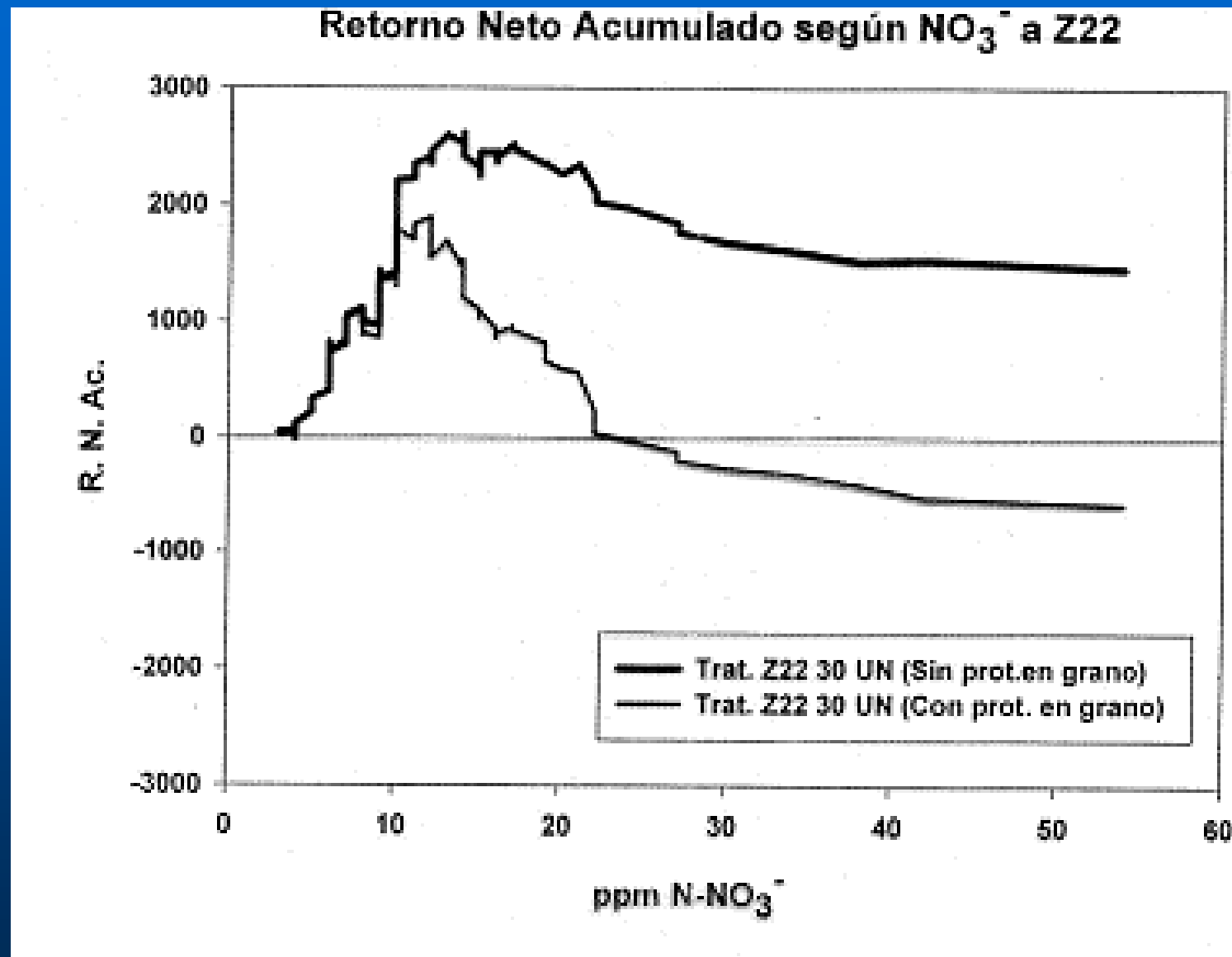
Cambio de rendimiento en grano al agregado de  
60 kg/ha N a Z-22 según nivel de  $\text{NO}_3^-$  en Z-22



Perdomo et. al. 1998

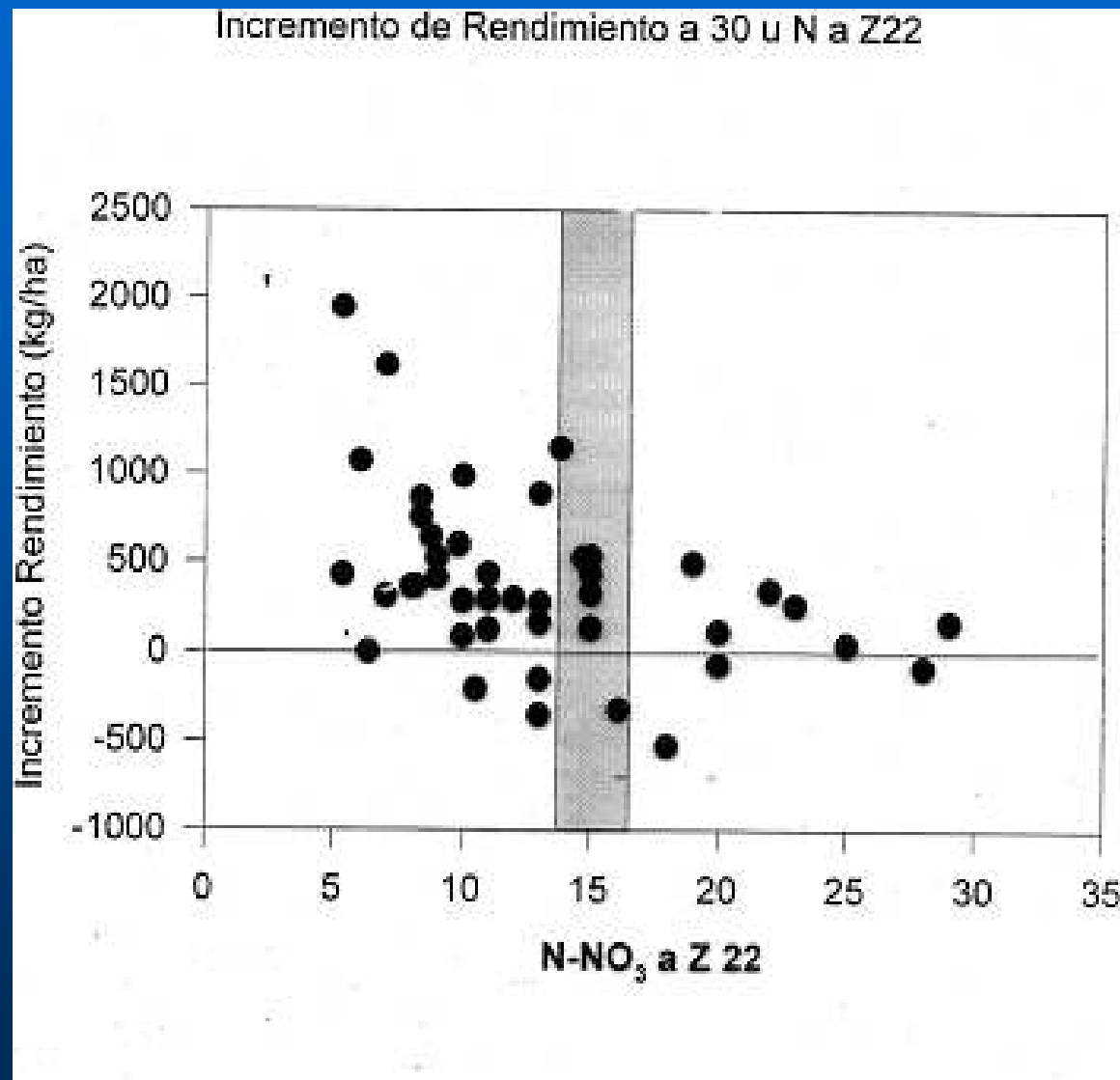


# Cebada



Perdomo et. al. 1998

# Trigo en SD



Bordoli et al.; 1999

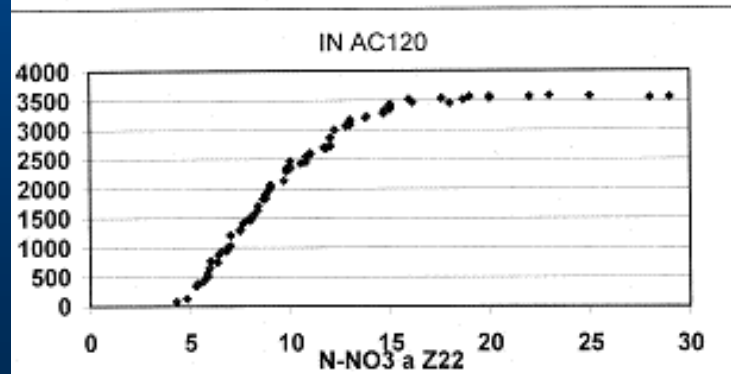
# Trigo en SD: calculos del Ingreso Neto acumulado (IN AC)

INGRESOS NETOS PARA 39 U N a Z 2.2

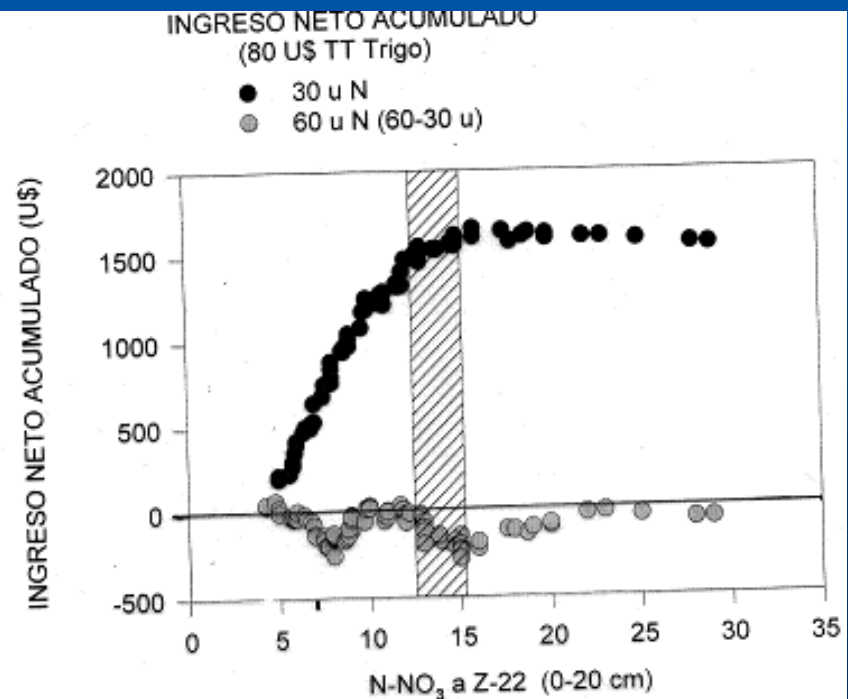
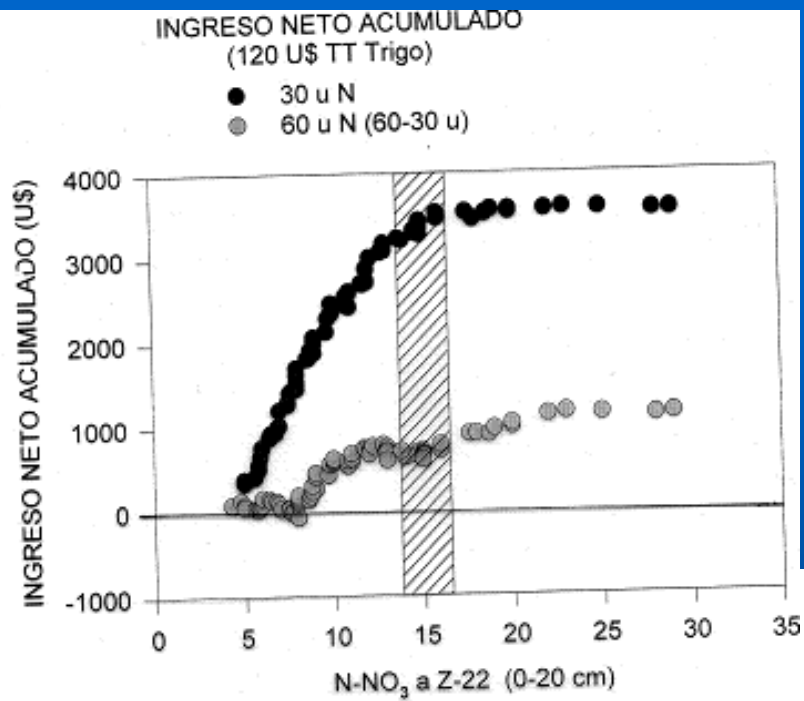
PT= 120u\$TT COSTO US 15 PT/PI=4.2

Sello	NO3-Z22	PT= 120u\$TT		COSTO US 15		NO3-Z22	IN AC120	IN AC/ha
		Inc.R. 30	10 39 U	200TT+AP	120u\$TT			
		COSTO	IN 39U					
21	4.3	778	93	15	78.4	4.3	78.4	1.8
24	4.8	539	85	15	49.7	4.8	128.0	1.6
2	5.3	1949	234	15	218.8	5.3	346.9	4.3
6	5.3	431	52	15	36.7	5.3	393.6	4.8
21	5.6	435	52	15	37.2	5.6	420.8	5.3
22	5.8	845	101	15	98.4	5.8	507.2	6.3
215	5.8	515	52	15	46.8	5.8	554.0	6.9
29	5.9	939	112	15	97.3	5.9	651.2	8.1
2	6.0	1071	128	15	113.5	6.0	764.8	9.6
3	6.3	3	0	15	-14.7	6.3	769.1	9.4
24	6.4	1180	142	15	129.6	6.4	875.7	11.0
28	6.5	597	68	15	53.0	6.5	923.8	11.6
28	6.8	250	30	15	15.0	6.8	944.8	11.8
21	6.9	638	77	15	61.6	6.9	1008.3	12.6
6	7.0	313	38	15	22.5	7.0	1028.8	12.9
2	7.0	1614	194	15	178.7	7.0	1207.6	15.1
24	7.5	754	90	15	75.5	7.5	1283.0	16.0
28	7.5	279	33	15	18.5	7.5	1301.5	16.3
216	7.6	1053	126	15	111.4	7.6	1412.9	17.7
212	7.7	311	37	15	22.3	7.7	1435.2	17.9
6	8.0	363	44	15	28.6	8.0	1463.8	18.3
23	8.0	540	65	15	49.8	8.0	1513.6	18.9
11	8.2	367	44	15	29.0	8.2	1542.6	19.3
8	8.4	860	103	15	88.2	8.4	1630.8	20.4
10	8.4	750	90	15	75.0	8.4	1705.8	21.3
22	8.6	1062	127	15	112.4	8.6	1818.2	22.7
29	8.7	186	22	15	7.3	8.7	1825.6	22.8
5	8.8	637	76	15	61.3	8.8	1887.9	23.6
212	8.8	97	12	15	-3.4	8.8	1883.7	23.5
214	8.8	581	46	15	30.7	8.8	1914.4	23.9
23	9.0	712	85	15	70.4	9.0	1984.8	24.8
3	9.0	413	50	15	34.6	9.0	2019.4	25.2
8	9.0	521	63	15	47.5	9.0	2067.0	25.8
25	9.7	709	85	15	70.1	9.7	2137.0	26.7
26	9.8	1420	170	15	165.4	9.8	2292.4	28.7
4	9.8	598	72	15	56.5	9.8	2349.0	29.4
10	10.0	88	11	15	-4.4	10.0	2344.5	29.3
9	10.0	286	34	15	19.3	10.0	2363.8	29.5
2	10.0	985	118	15	103.2	10.0	2467.0	30.8
11	10.5	-294	-24	15	-38.4	10.5	2427.5	30.3
25	10.8	317	38	15	23.0	10.8	2450.6	30.6
213	10.8	924	111	15	95.9	10.8	2546.4	31.8
4	11.0	434	52	15	37.1	11.0	2583.6	32.3
11	11.0	129	16	15	0.5	11.0	2584.1	32.3
5	11.0	293	35	15	20.1	11.0	2604.2	32.6
210	11.7	924	111	15	95.9	11.7	2700.1	33.8
28	11.8	70	8	15	-6.6	11.8	2693.5	33.7
3	12.0	297	36	15	20.6	12.0	2714.1	33.9
6	12.0	291	35	15	19.9	12.0	2734.0	34.2
23	12.0	1195	143	15	128.4	12.0	2862.4	36.9
212	12.0	241	29	15	13.9	12.0	2876.3	36.0
20	12.2	1162	139	15	124.4	12.2	3000.8	37.5
27	12.8	663	82	15	67.0	12.8	3067.7	38.3
27	12.8	81	10	15	-5.3	12.8	3062.4	38.3

5	13.0	884	105	15	91.1	13.0	3153.8	39.4
9	13.0	273	33	15	17.8	13.0	3171.4	39.6
10	13.0	-148	-18	15	-32.8	13.0	3138.6	39.2
11	13.0	-351	-42	15	-57.2	13.0	3081.4	38.6
6	13.0	167	20	15	5.0	13.0	3086.4	38.6
7	13.8	1147	138	15	122.0	13.8	3205.0	40.1
25	13.8	290	31	15	16.2	13.8	3225.2	40.3
9	14.7	523	63	15	47.8	14.7	3273.0	40.9
22	14.7	329	39	15	24.5	14.7	3287.4	41.2
27	14.7	326	39	15	24.1	14.7	3321.6	41.5
4	15.0	327	39	15	24.2	15.0	3345.8	41.8
5	15.0	930	84	15	48.0	15.0	3394.4	42.4
8	15.0	437	52	15	37.4	15.0	3431.3	42.9
9	15.0	137	16	15	1.4	15.0	3433.2	42.9
210	16.0	844	101	15	88.3	16.0	3519.5	44.0
1	16.1	-321	-38	15	-59.5	16.1	3466.0	43.3
29	17.8	661	79	15	64.3	17.8	3538.3	44.1
10	18.0	-523	-63	15	-77.6	18.0	3462.5	43.2
210	18.7	653	78	15	63.4	18.7	3515.9	43.9
7	19.0	497	60	15	44.8	19.0	3560.5	44.5
1	20.0	115	14	15	-1.2	20.0	3559.3	44.5
4	20.0	-65	-8	15	-23.2	20.0	3536.2	44.2
7	22.0	344	41	15	26.0	22.0	3562.5	44.5
3	23.0	202	31	15	16.4	23.0	3578.9	44.7
1	25.0	44	5	15	-9.7	25.0	3569.1	44.6
1	26.0	-85	-10	15	-25.2	26.0	3543.9	44.3
7	29.0	167	20	15	5.1	29.0	3549.0	44.4

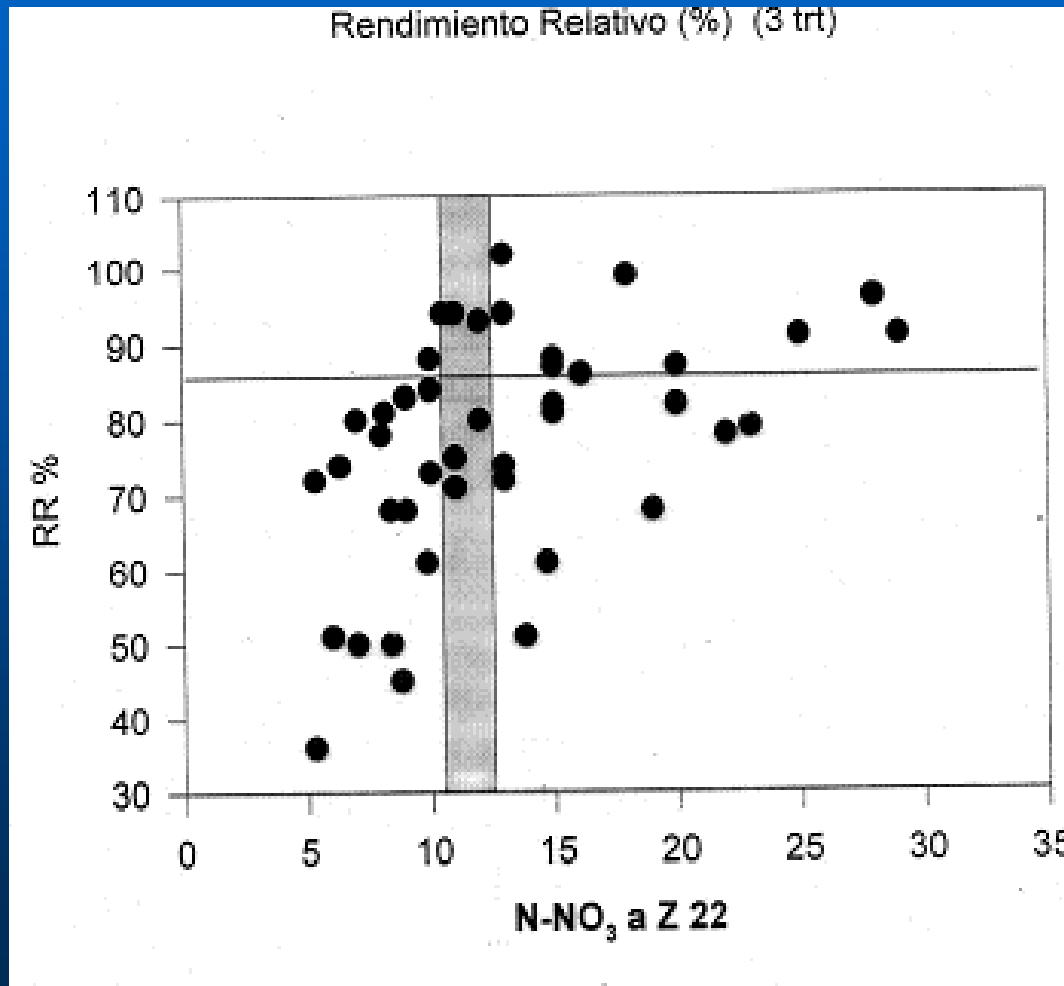


# Trigo en SD



Bordoli et al.; 1999

# 1.3) Modelo líneal -plateau (Cate y Nelson, 1965)



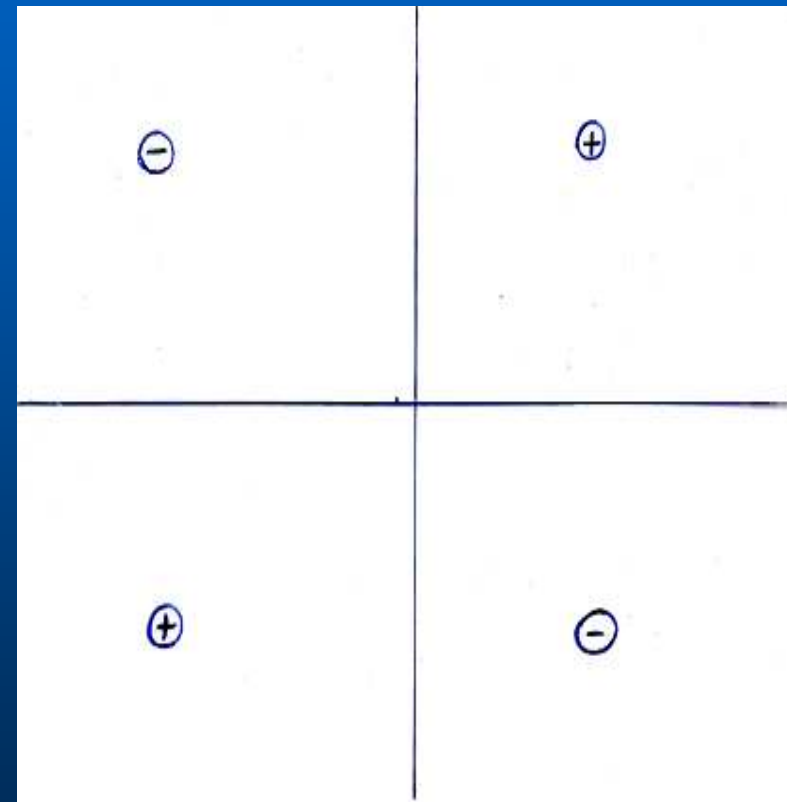
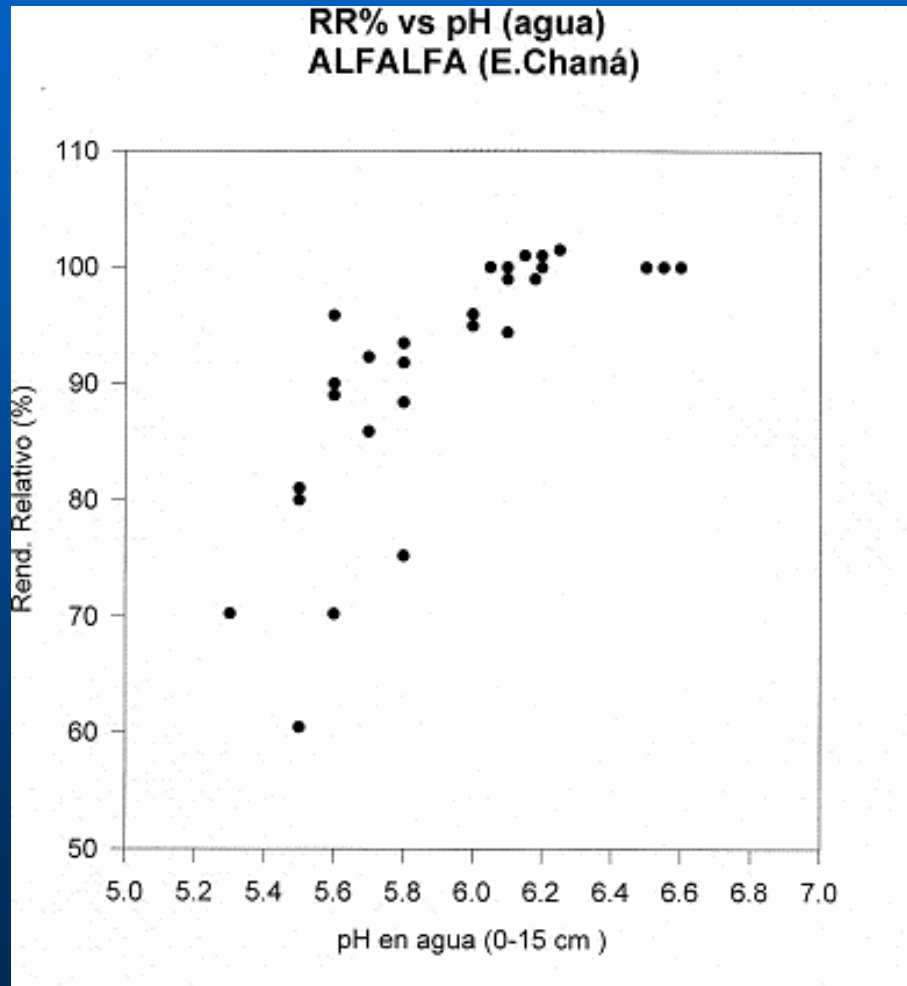
Trigo en SD

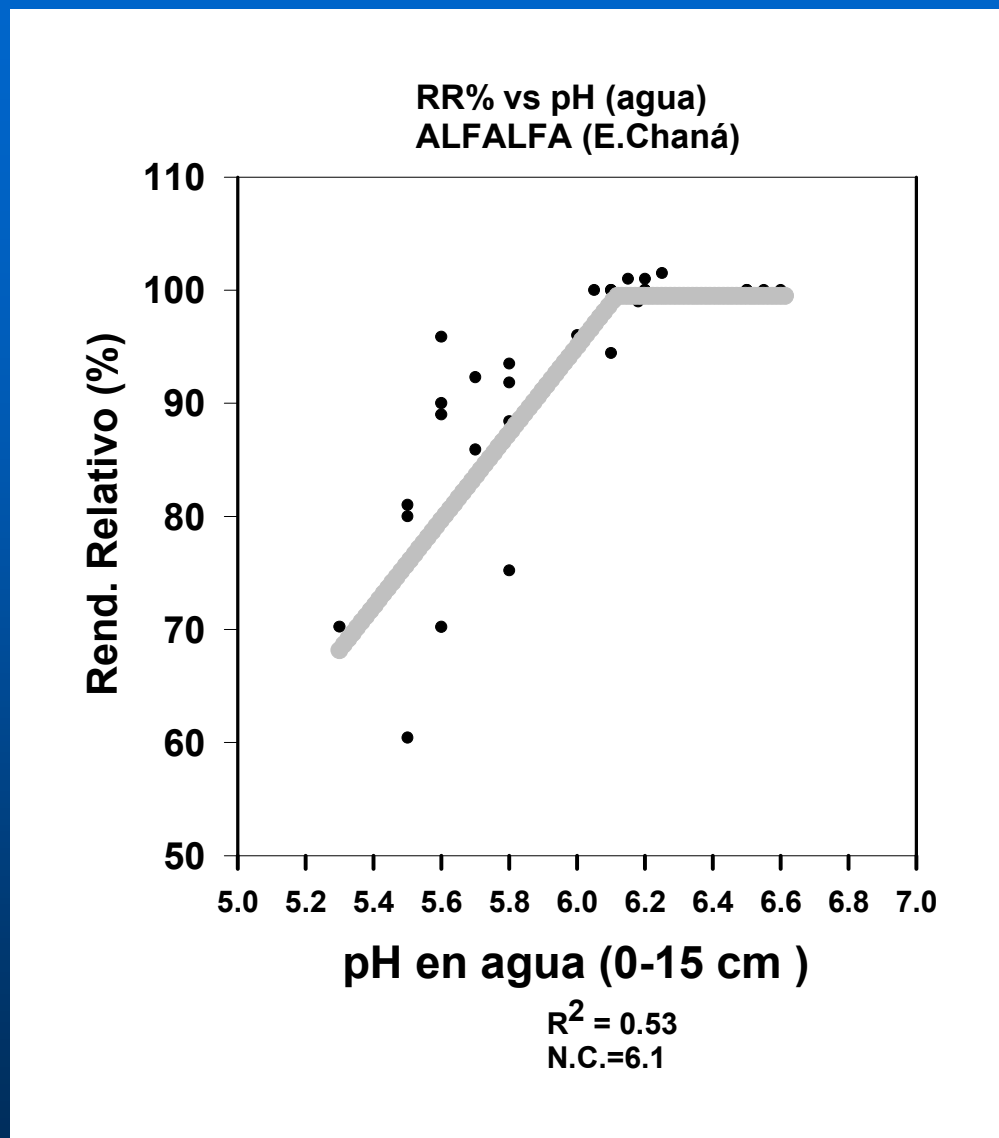
Plateau=84  
nc= 11  
r<sup>2</sup>=0.32

Bordoli et al.; 1999

# Modelo lineal –plateau. Método gráfico.

(Cate y Nelson, 1965) : división en 2 poblaciones mediante técnica gráfica basada en un análisis no paramétrico de asociación de Olmstead y Tuckey (1947).





Bordoli,(2005)

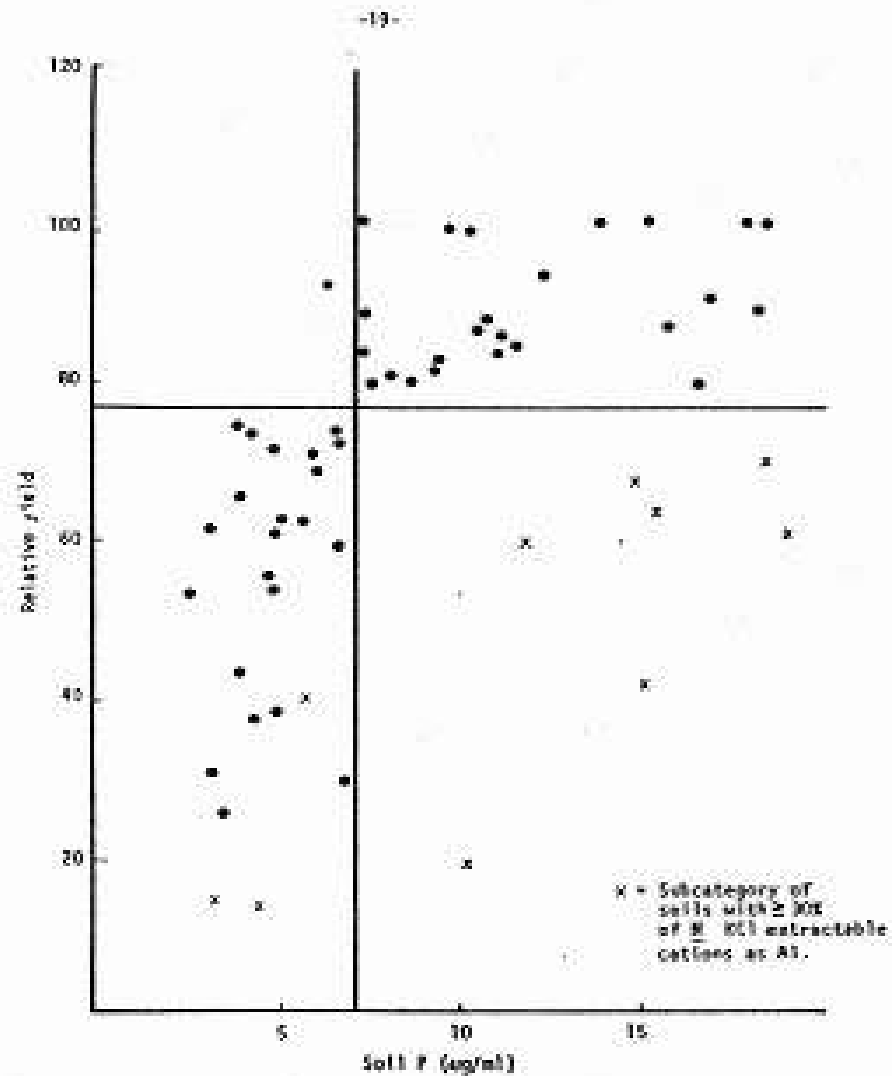


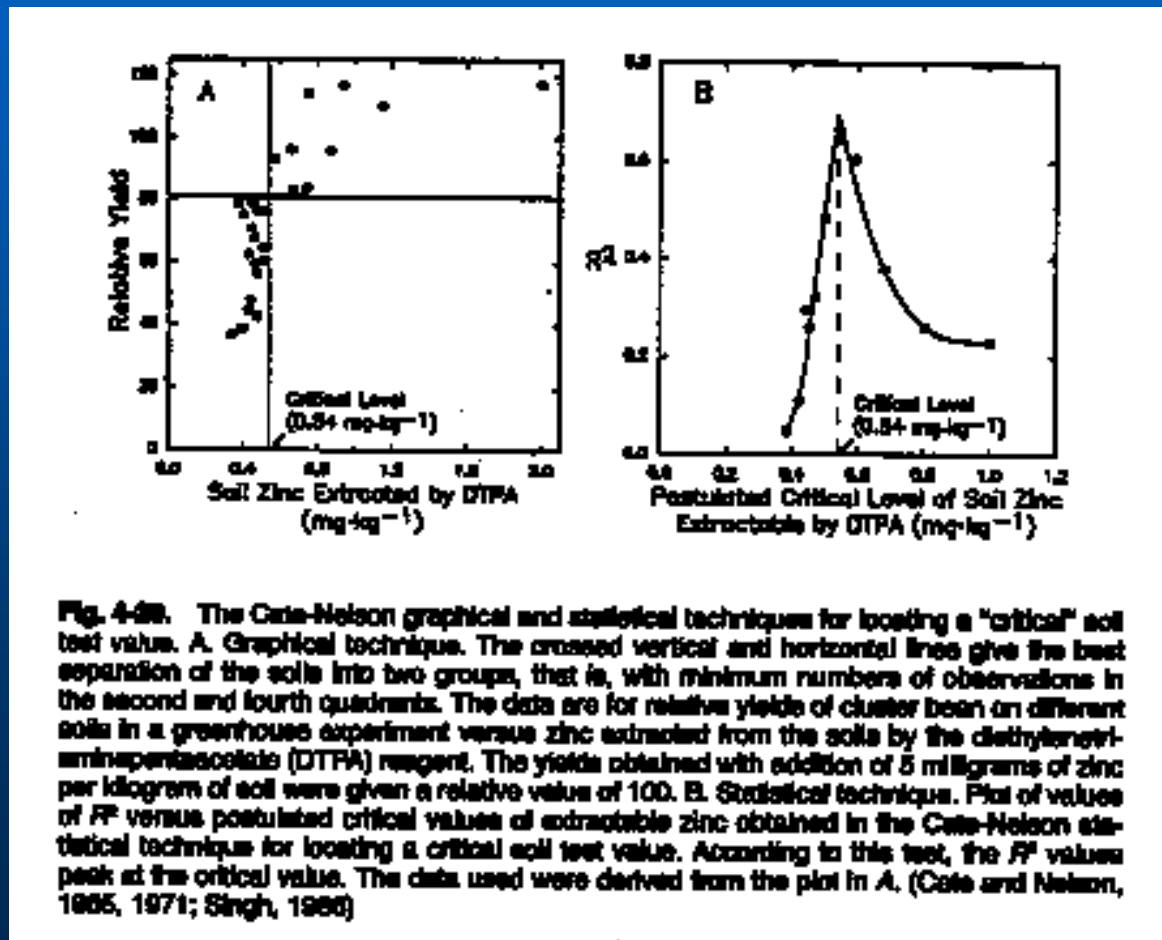
FIGURE 3. Soil P extractable by 0.5 N NaHCO<sub>3</sub> (1/10) in relation to relative yield of potatoes in field trials. (From experimental results by the Peruvian National Potato Program in cooperation with International Soil Fertility Evaluation Project, ISFCE Annual Report 1968).

Waugh, Cate  
and Nelson;  
1973



# Modelo líneal –plateau. Método matemático. (Cate y Nelson, 1965):

se dividen los datos en 2 clases o grupos, usando sucesivamente niveles críticos (NC) tentativos hasta un NC particular que maximiza la predictividad total del modelo (máximo R<sup>2</sup> del modelo).



## 2) Métodos “complejos”

- Requieren información de ensayos de campo Tipo II
- No sólo determinan el nivel de suficiencia del nutriente disponible (nivel crítico) sino que también responden que dosis agregar si el nivel de nutriente es insuficiente.

- 2.1.) Ecuación Bray-Mitscherlich

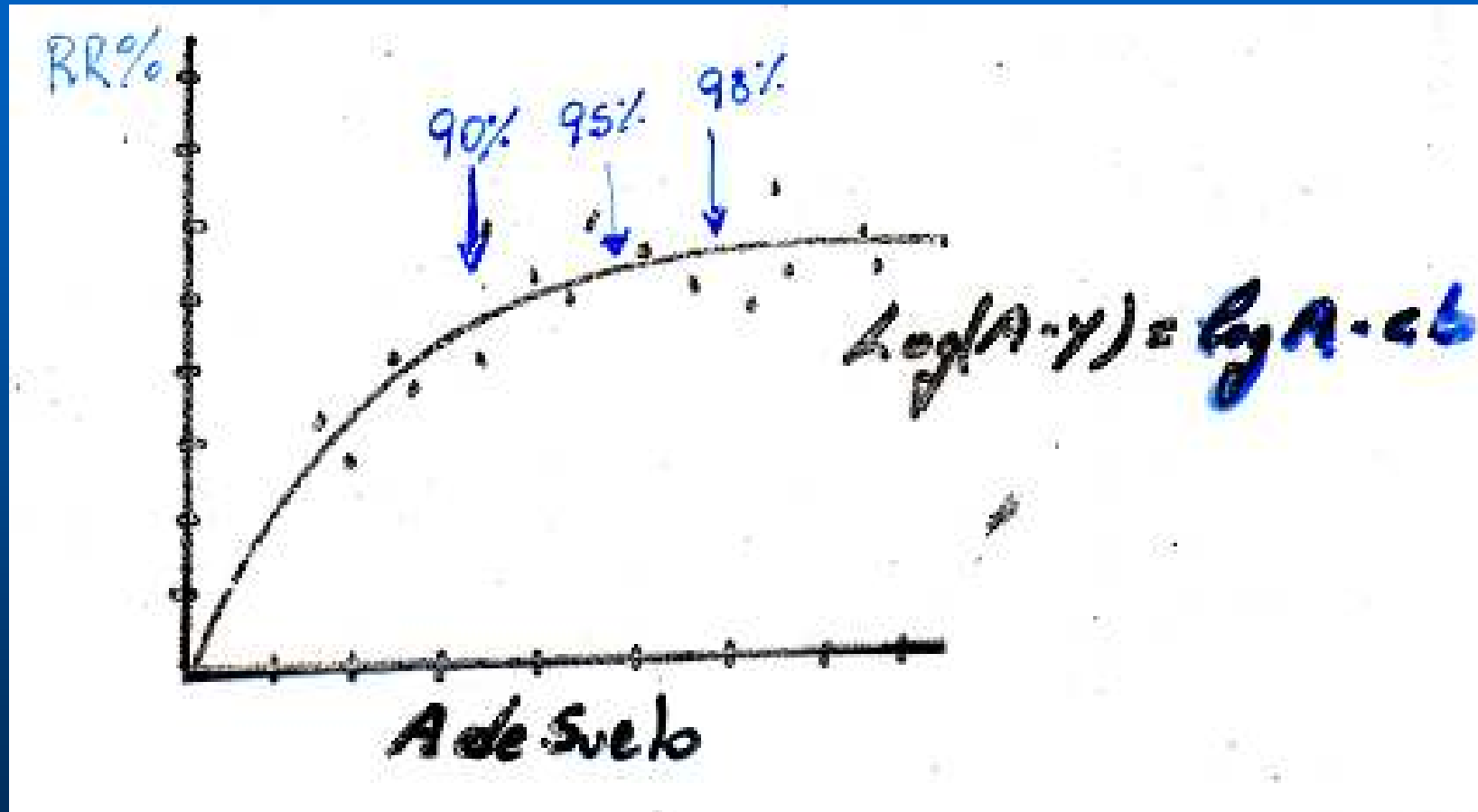
$$\log (A-y) = \log A - c x - c_1 b_1$$

- 2.2.) Ecuaciones cuadráticas generalizadas (polinomiales generalizadas)

$$y = a + b P - c P^2 + d p - e p^2 - f P p$$

## Bray-Mitscherlich

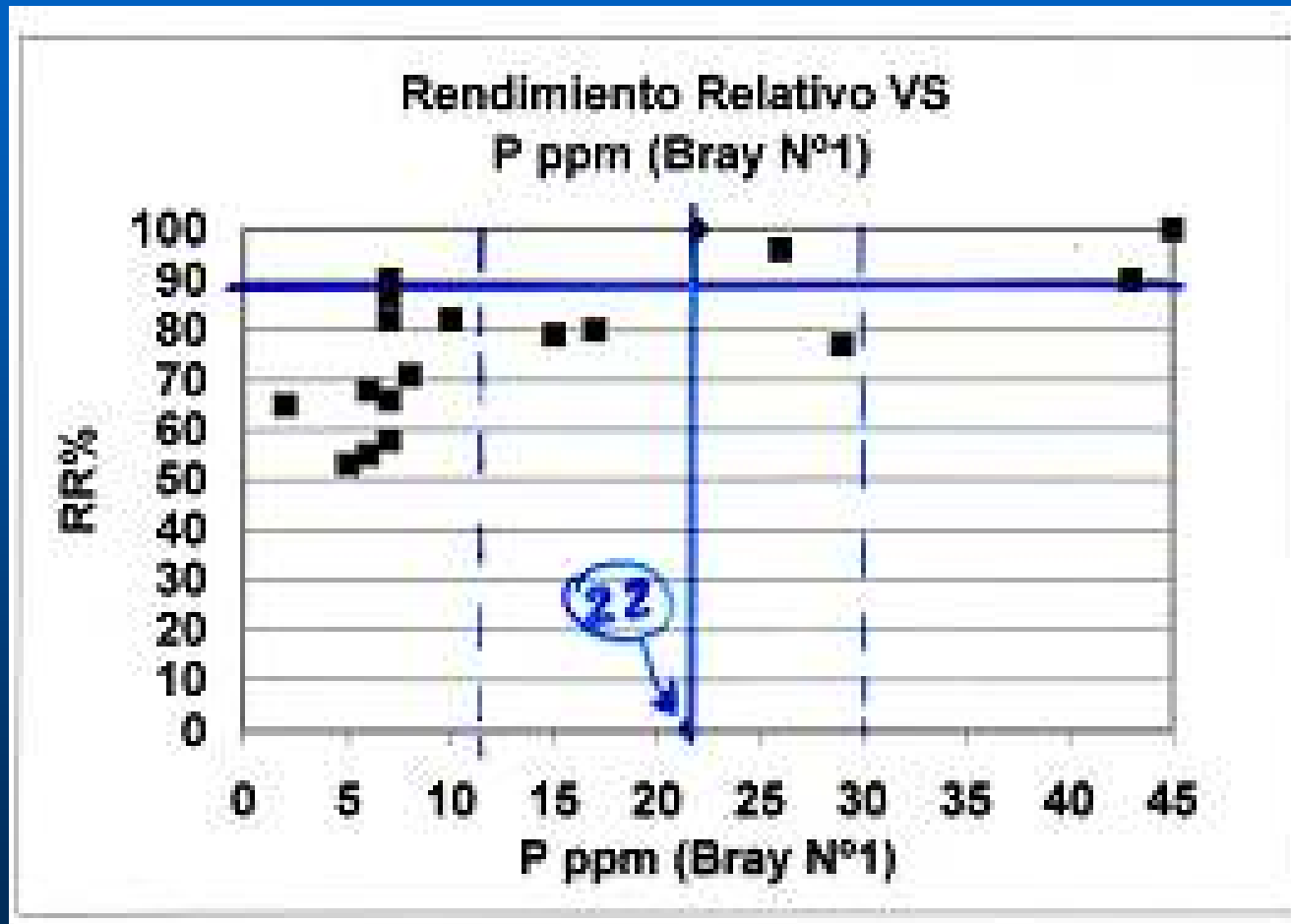
- $\log (A-y) = \log A - c x - c1 \quad b1$
- $(RR\%) \log(A-y) = \log A - cb$



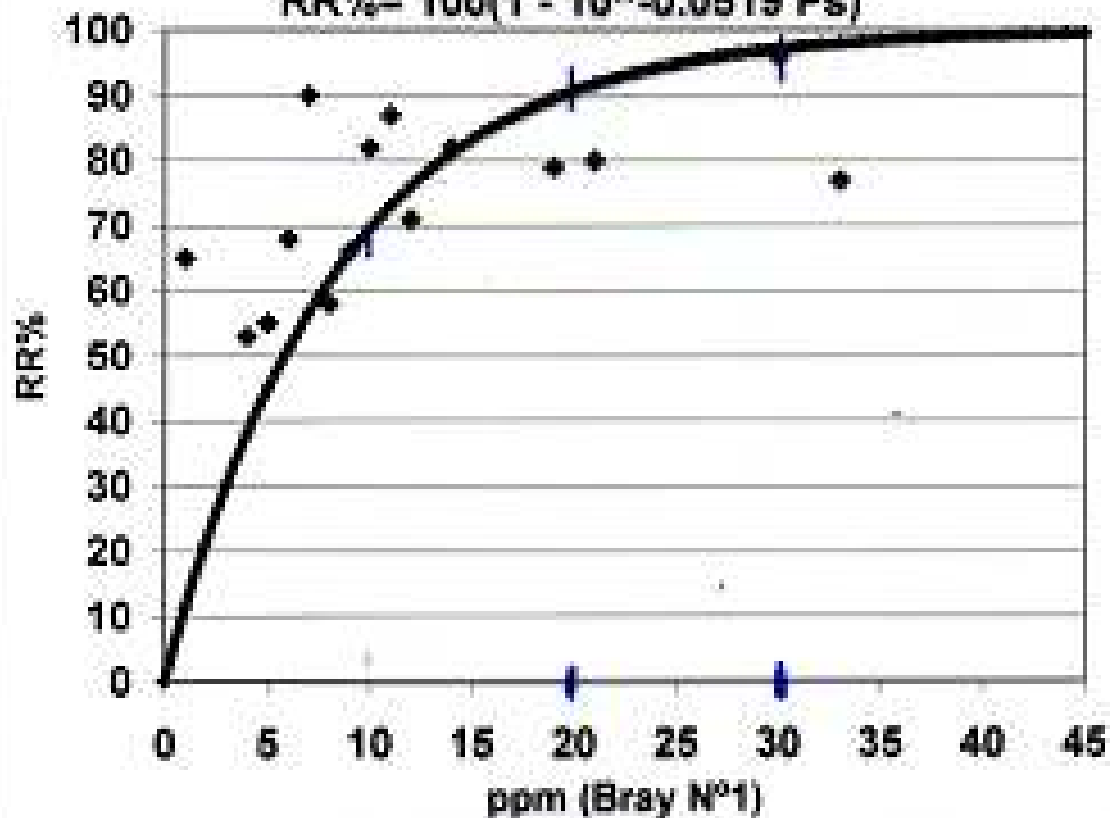
# Calibración de Bray N°1 en Papa

Suelos de San José

M.Chele, 1983



Rendimiento Relativo de Papa  
 VS P(ppm) de Bray N°1  
 $RR\% = 100(1 - 10^{-0.0519 Ps})$



ppm	RR%
10	69.7
20	90.8
30	97.2

$$P_{2O5} 98\% = 195 * 0.94 ^ P_s$$

ppm      dosis P2O5

1        183

5        144

10       106

15       78

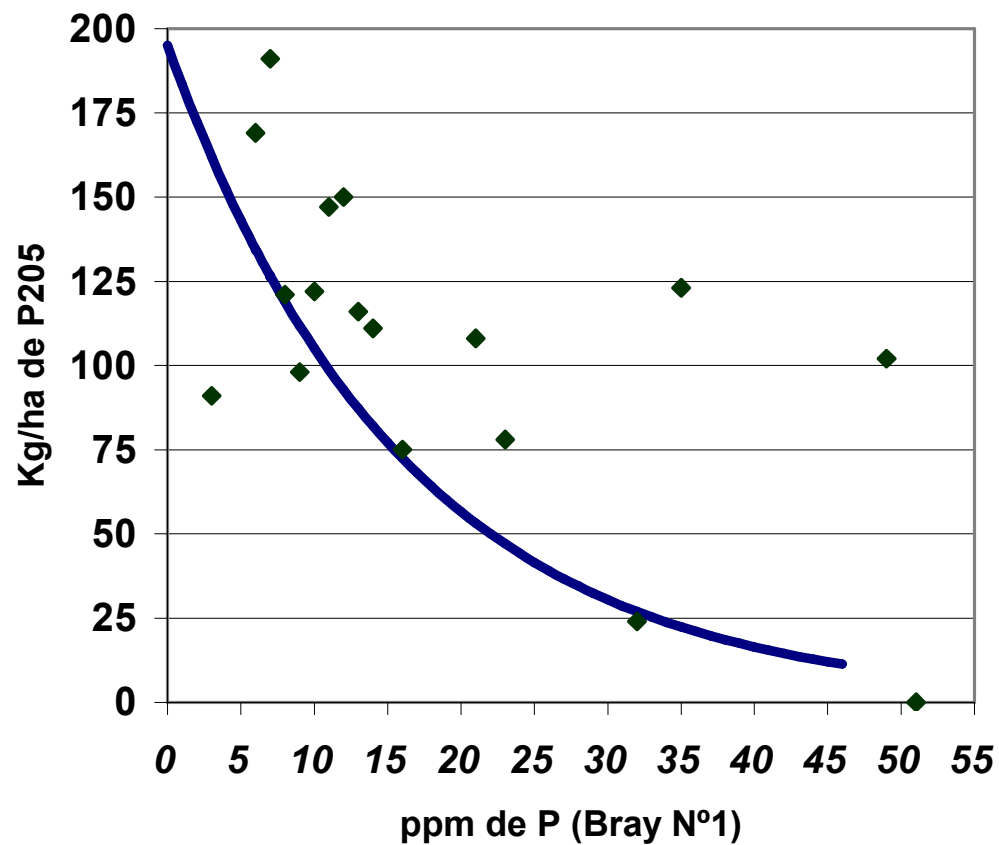
20       57

25       42

30       31

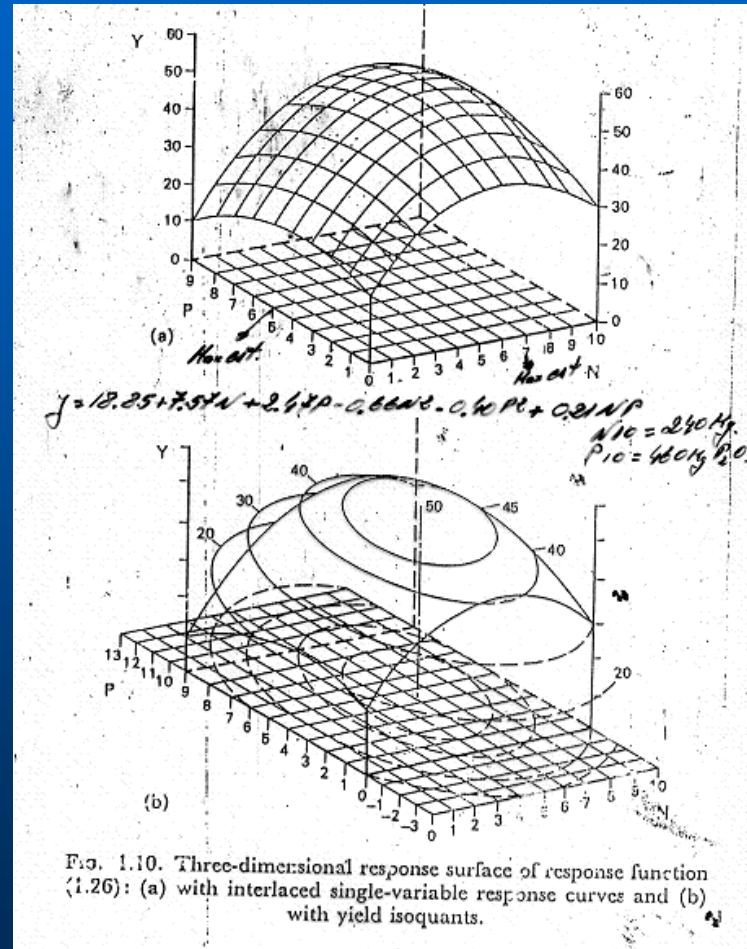
**Unidades de P2O5 para lograr el 98%  
del Máximo Rendimiento**

$$P_{98\%} = 195 * 0.94 ^ P_s \quad (R^2 = 0.44)$$



# Ecuaciones cuadráticas generalizadas (polinomiales generalizadas)

$$y = a + bP - cP^2 + dP + eP^2 - fP^2$$





## **Respuesta NPK en Remolacha Azucarera**

**(Rabuffetti y Claasen)**

**-Suelos sobre Fray Bentos**

**-7 ensayos**

**-3 años**

**Variables medidas (no controlables)**

**-N total del suelo**

**-P (Bray N° 1)**

**-K intercambiable**

**-Lluvia en 180 días previos a cosecha en periodos de 60 días  
(L1, L2 y L3)**

**Rendimiento en Azúcar:**

$$Y = 3.43 + 0.0365 N + 0.0407 P + 0.0037 K - 0.00014 N^2 - 0.00009 P^2 + 0.00003 NP + 15.55 n + 0.0613 p - 0.0629 nN + 0.04 L1 + 0.06 L2 + 0.203 L3$$

$$R^2 = 0.772$$