

Biodisponibilidad y manejo de fosfato en suelos tropicales. I.



Nelson Walter Osorio

Ing. Agrónomo, M. Sc., Ph. D.

Universidad Nacional de Colombia

Profesor Asociado - Biotecnología Ambiental

Escuela de Biociencias- Facultad de Ciencias

Correo-e: nwosorio@unal.edu.co, nwosorio@gmail.com

Web-page: <https://sites.google.com/site/nwosorio/>

Contenido

- Aspecto generales de P en el suelo
- Funciones del P en las plantas
- Extracción de P por las plantas
- Síntomas de deficiencia de P en las plantas
- Ciclo biogeoquímico del fósforo (P) en el suelo
- P inorganico
 - Fijación de P en el suelo
 - Fósforo orgánico del suelo
 - Disponibilidad de P en el suelo
 - Isotermas de adsorción de P
 - Métodos convencionales de análisis de suelos para estimar P-disponible
 - Fertilizantes fosfóricos
- P orgánico
- Uso de inóculos microbiales

Fosforo vs. fosfato

- En el suelo el P esta en forma de iones fosfato
- El principal ion fosfato en suelos ácidos es H_2PO_4^- (monovalente)
- En suelos neutros a alcalinos es HPO_4^{2-} (divalente)
- $\text{H}_2\text{PO}_4^- \leftrightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+ \quad [\text{K}=10^{7.2}]$
- En los suelos difícilmente se encuentra el ión PO_4^{3-} (trivalente), ya que este se forma a pH ~ 12.5
- $\text{H}_3\text{PO}_4 \underset{\text{pH } 2.1}{\leftrightarrow} \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+ \underset{\text{pH } 7.2}{\leftrightarrow} \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+ \underset{\text{pH } 12.5}{\leftrightarrow} \text{PO}_4^{3-} + \text{H}^+$

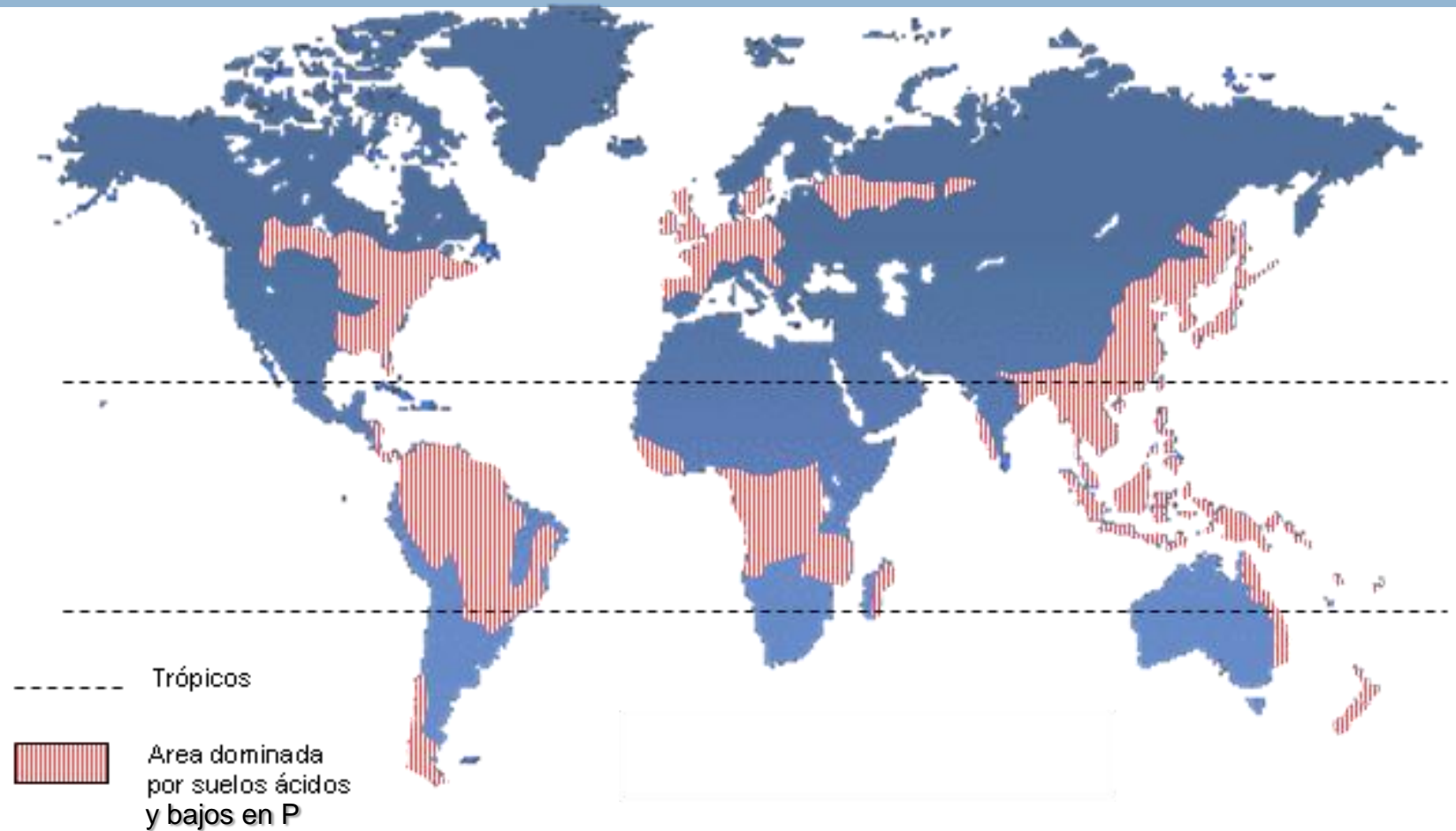
Fosforo vs. P_2O_5

- En los suelos no hay P_2O_5 , tampoco en las plantas ni en las enmiendas o fertilizantes
- P_2O_5 es una forma química poco frecuente bajo condiciones ambientales, naturalmente se ha reportado su presencia en emisiones volcánicas. Éste rápidamente se convierte en ácido fosfórico.
- $P_2O_5 + 3 H_2O \rightarrow 2 H_3PO_4$
- Dependiendo del pH del medio se forma una especie química del fosfato.
- P_2O_5 también puede ser hallado en muestras de materiales orgánicos sometidos a combustión ($500^\circ C$).
- Por convención, el contenido de P en los fertilizantes se expresa en forma de P_2O_5 . Esto se deriva a que originalmente la determinación de P en materiales orgánicos sometidos a combustión.
- El contenido de P en muestras orgánicas (p.e., tejidos vegetales) se ha expresado en términos de P_2O_5

Suelos deficientes en P

- Buena parte de los suelos son deficientes en fósforo disponible
- Esto es particularmente cierto en suelos del trópico (~80%) (>1000 millones de ha)
- Suelos deficientes en P disponibles: Andisoles, Oxisoles, Ultisoles, Inceptisoles ácidos, entre otros.
- Esto se constituye en un limitante para la productividad agropecuaria y forestal

Suelos potencialmente deficientes en fósforo disponible para las plantas



Porcentaje de muestras de suelos deficientes en P-Bray II en algunas regiones de Colombia

Región	%	Nº de muestras	Mineral(es) dominante(s)*
Zona cafetera del Valle del Cauca**	83	24000	alofana, caolinita
Zona cafetera de Antioquia***	80	19000	caolinita, alofana
Costa Pacífica	77	1678	caolinita
Llanos Orientales	75	2874	caolinita y óxidos de Fe y Al
Cordillera Andina	73	29479	caolinita, alofana
Valle Bajo Magdalena	68	3897	arcillas 2:1
Valle Alto Magdalena	55	17151	arcillas 2:1
Valle Río Cauca	50	4281	arcillas 2:1
Sabana de Bogotá	43	3730	caolinita, micas
Costa Atlántica	34	6055	Arcillas 2:1

Fuente: Marín (1981), IGAC (1988), Patiño *et al.* (2007), Restrepo (2006).

Funciones de P

Componente de ATP, NADP, fosfolípidos de las membranas celulares, ácidos nucleicos (ADN, ARN), fosfoazúcares

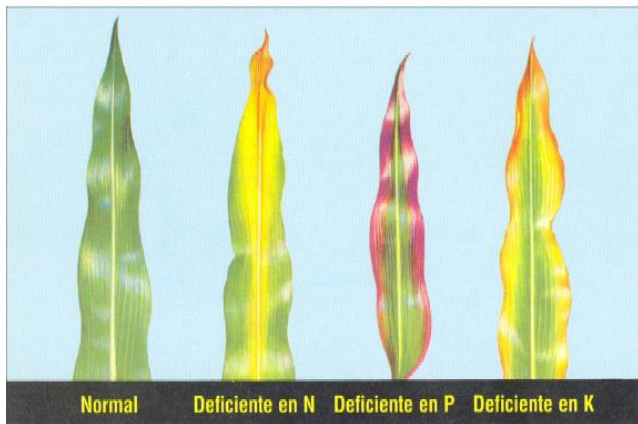
Impacto en respiración, fotosíntesis, síntesis de carbohidratos, de proteínas, de Ac. nucleicos, de lípidos

En los tejidos vegetales la concentración de P está entre 0.2-0.3%

Extracción de P por las plantas

Cultivo	Rendimiento (Ton ha ⁻¹)	P removido (kg ha ⁻¹)
Maíz	6	22
Arroz	6	22
Papa	40	35
Yuca	40	30
Frijol	2.5	4.4
Palma Africana (racimos)	25	26
Tomate	50	28
Lechuga	30	15
Repollo	40	30
Café (pergamino)	1.5	13
Zanahoria	30	24
Coliflor	50	44
Cebolla	35	22
Aguacate	15	11
Banano	40	26
	19	23
Elefante	31	71
Kikuyo	14	36
Guinea	10	27
	23	44
	35	77

Síntomas visuales de deficiencia de P



Deficiencia de N -P - K en Maíz



-P aguacate



-P cebolla



-P citricos



EL PROBLEMA: Lento crecimiento inicial y atraso en la madurez de sorgo para grano.

-P sorgo



EL PROBLEMA: Deficiencia de P en el cultivo de la papa

-P papa



EL PROBLEMA: Pobre crecimiento inicial del trigo.

-P arroz



EL PROBLEMA:
Plantas enanas y pobre desarrollo de uvas por deficiencia del fósforo.

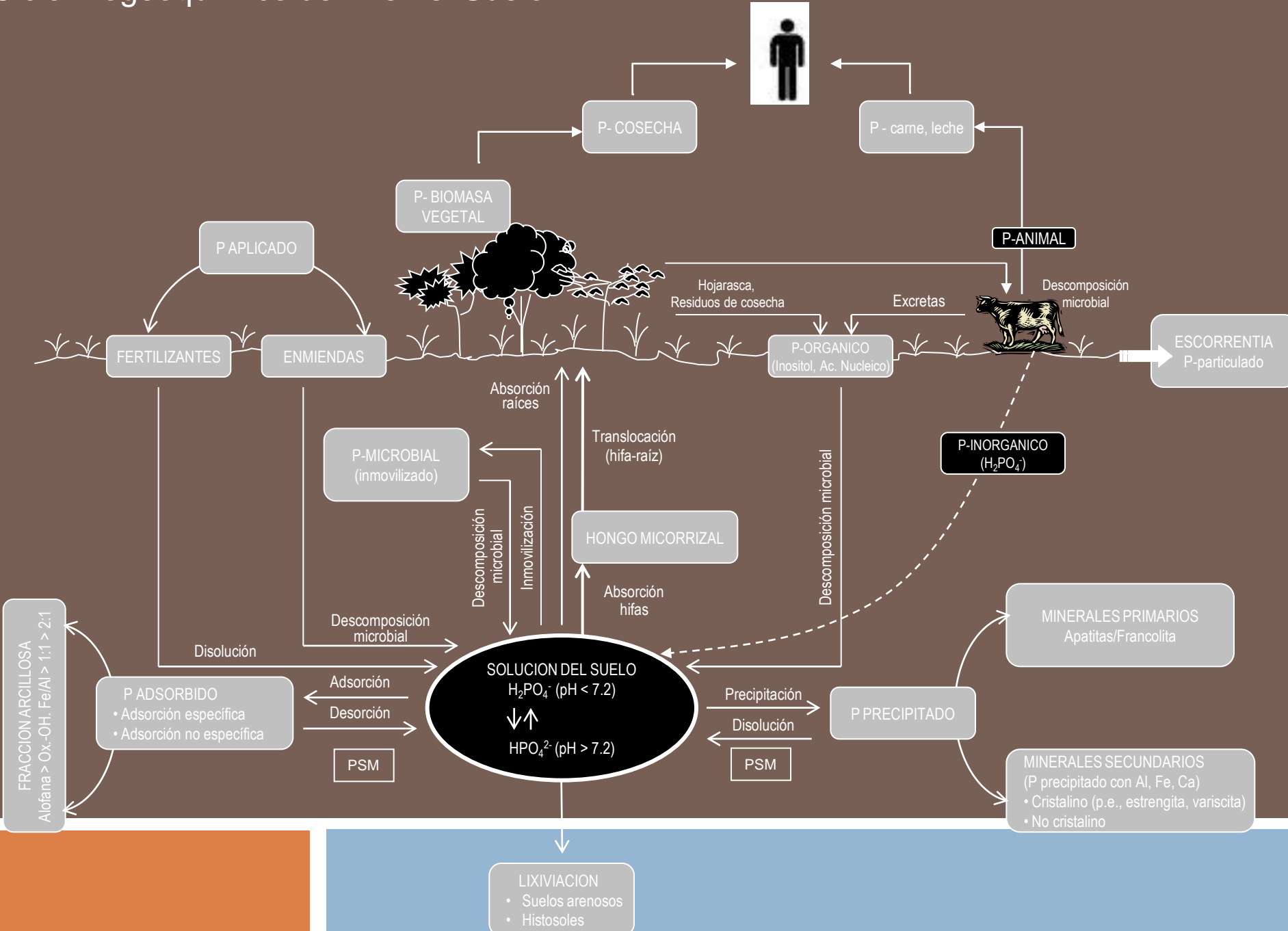
-P vid



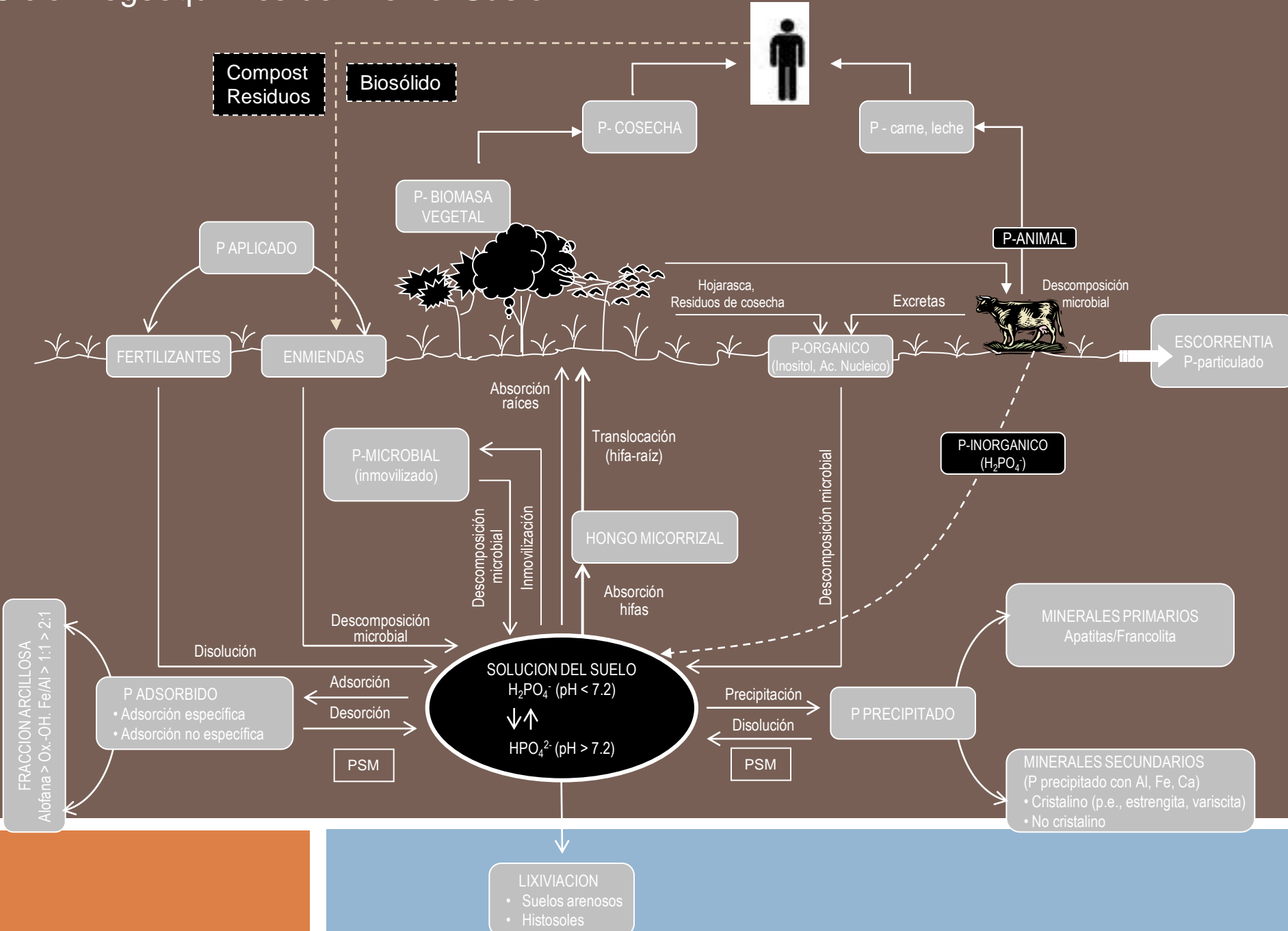
-P pastos

*Pérdidas del rendimiento
Retraso en la maduración
Reducción rendimiento*

Ciclo Biogeoquímico del P en el Suelo



Ciclo Biogeoquímico del P en el Suelo



Problema

- Baja biodisponibilidad de P en el suelo
- Concentración de P en la solución del suelo es baja: $0.001-0.1 \text{ mg L}^{-1}$
- Índices de disponibilidad: $P < 10 \text{ mg kg}^{-1}$ (Bray II)
- Fijación de P en el suelo:

reacciones de adsorción y precipitación que remueven H_2PO_4^- nativo y aplicado de la solución del suelo

Fijación de P en el suelo

- Orden de fijación de P en los minerales arcillosos / óxidos e hidróxidos:

alofana > goetita > gibsita > caolinita (1:1) > montmorillonita (2:1)

- Orden de suelos:

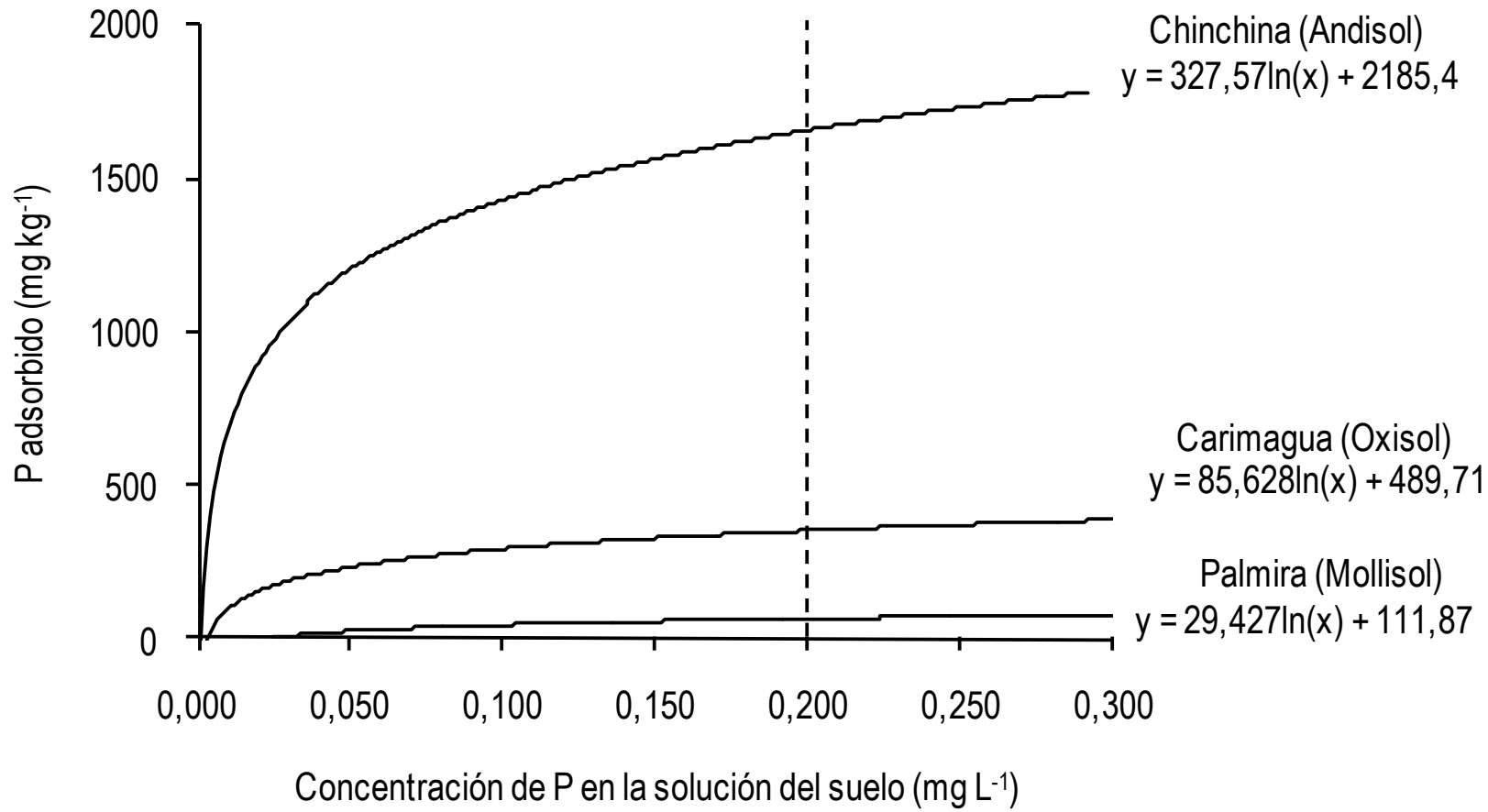
Andisol > Ultisol > Oxisol >...> Vertisol, Mollisol > Histosol



Medición de la fijación de P en el suelo

Isotermas de adsorción de P de cuatro suelos de Colombia.
El valor de $P_{0.2}$ se utiliza para caracterizar la capacidad de fijación de P.

Fuente: N. W. Osorio



Categorías para medir la fijación de P del suelo y la mineralogía predominante en cada categoría. Fuente: Juo y Fox (1977).

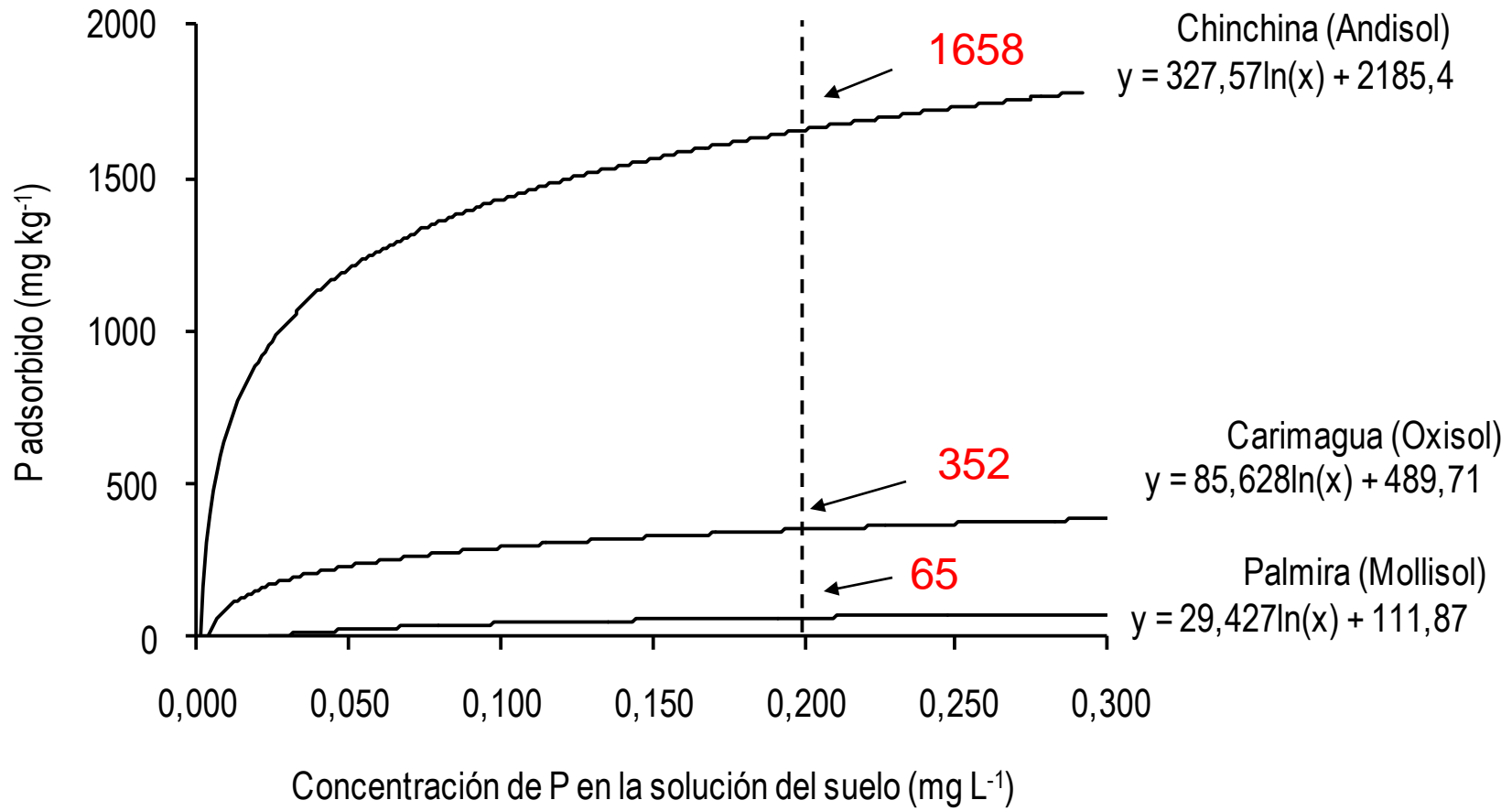
Categoría	$P_{0.2}$ (mg P kg ⁻¹)*	Mineralogía predominante
Muy baja	<10	Cuarzo, materiales orgánicos
Baja	10-100	Arcillas 2:1, cuarzo y arcillas 1:1
Media	100-500	Arcillas 1:1 con óxidos
Alta	500-1000	Óxidos, ceniza moderadamente meteorizada
Muy alta	>1000	Materiales amorfos desilicatados

* Cantidad de P requerida para obtener una concentración de P en la solución del suelo de 0.2 mg L⁻¹.

Isotermas de adsorción de P de cuatro suelos de Colombia.

El valor de $P_{0,2}$ se utiliza para caracterizar la capacidad de fijación de P.

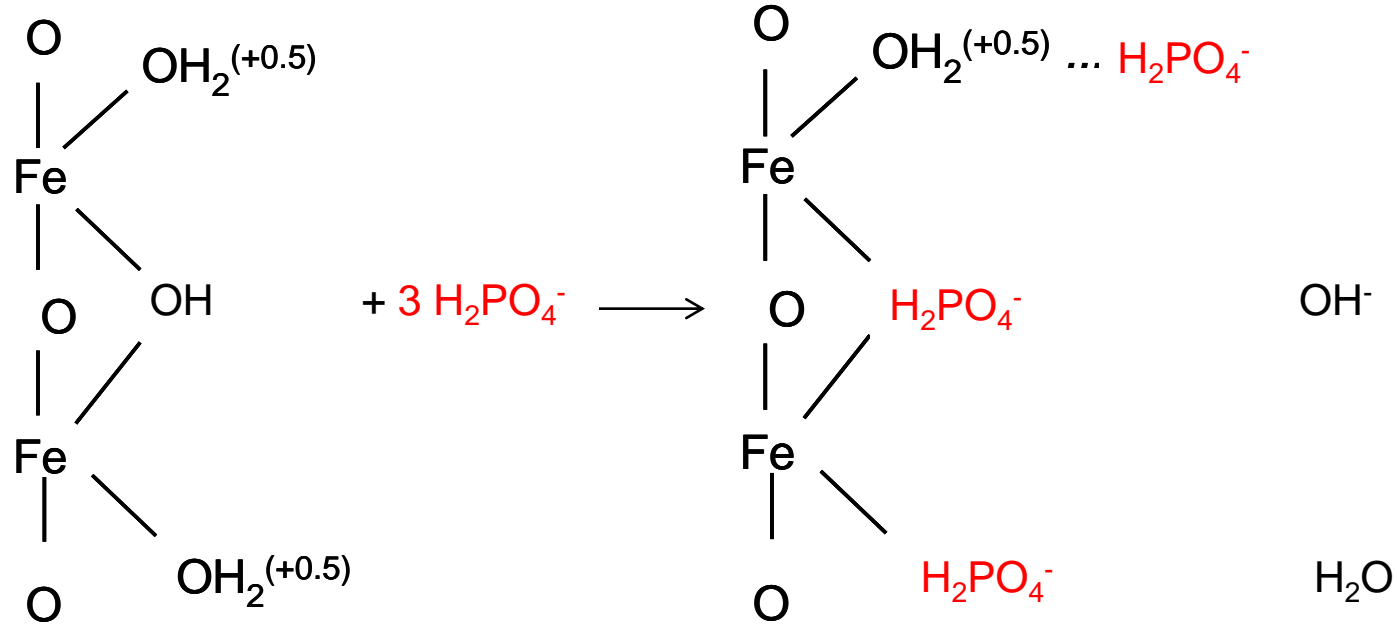
Fuente: N. W. Osorio



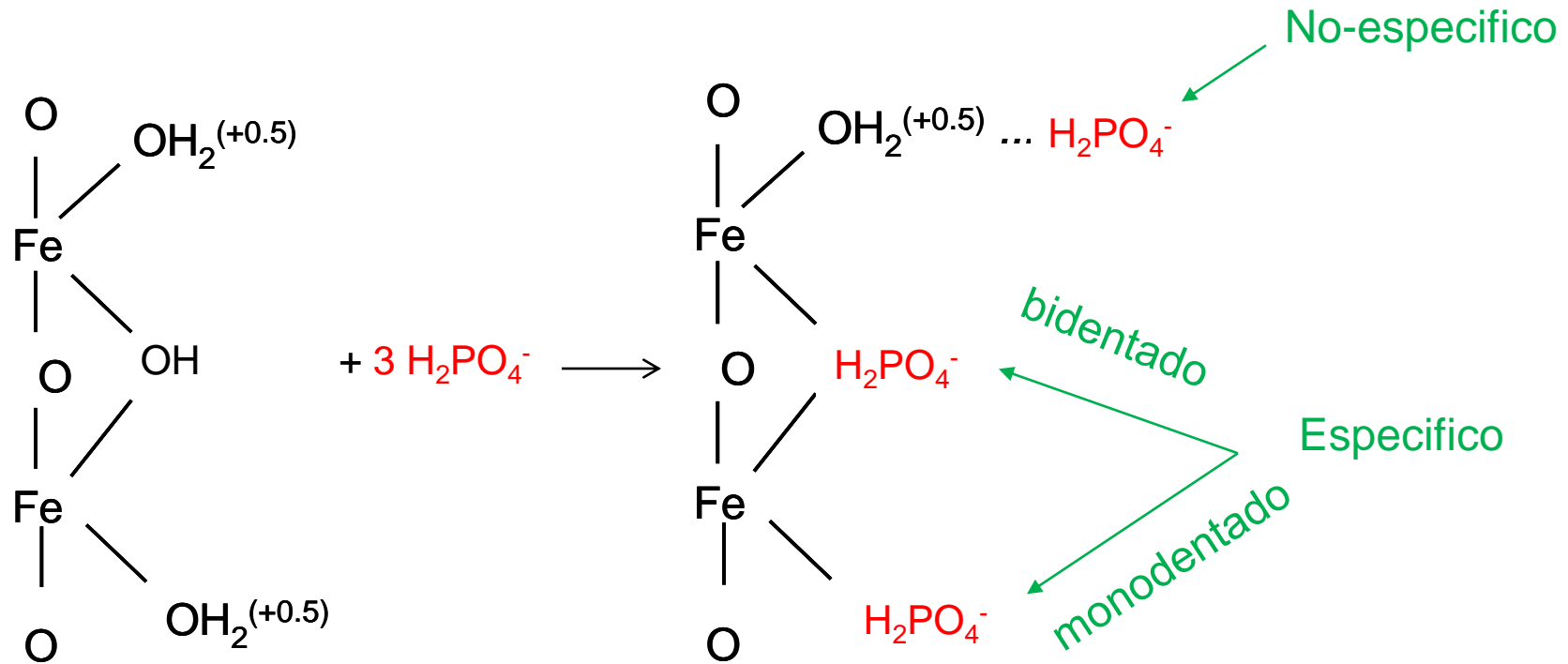
Adsorción de P

- **No-específica**: atracción electroestática de cargas positivas en las arcillas y óxidos por iones fosfato. Puede haber intercambio iónico con otros iones (sulfato, nitrato, etc.)
- **Específica**: formación de enlaces entre fosfato y superficie de minerales (arcillas y óxidos). La reacción va acompañada de la remoción de OH^- en sitios de los minerales.
 - Monodentada: se forma un enlace con el ión fosfato
 - Bidentada: se forman dos enlaces con el ión fosfato

Adsorción de fosfato por óxidos de Fe en el Suelo



Adsorción de fosfato por óxidos de Fe en el Suelo

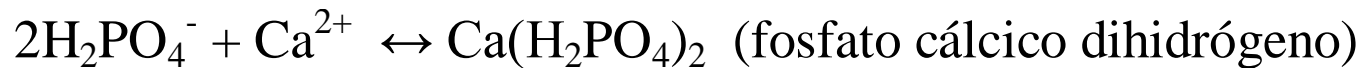


Precipitación de P con Al, Fe, Ca

En suelo ácidos (pH <5.5)



En suelo neutros, alcalinos (pH >6.5)



Fraccionamiento del P-mineral en suelos tropicales de Colombia & Hawai'i. Fuente: Osorio (2008) y Osorio (sin publicar).

Suelo	P-lábil (%)	P-Al (%)	P-Fe (%)	P-Ca (%)
<u>Poco meteorizado:</u>				
Vertisol (Lualualei, HI)	0.5	16.7	27.7	55.0
Mollisol (Neira, Col)	0.6	35.4	11.1	52.9
<u>Altamente meteorizado:</u>				
Oxisol (Paalooa, HI)	0.9	22.4	49.4	27.3
Oxisol (Halii, HI)	0.5	20.7	61.4	17.4
Oxisol (Makapili, HI)	0.7	6.6	78.3	14.3
Oxisol (Kapaa, HI)	0.6	43.9	44.5	11.0
Oxisol (Molokai, HI)	0.03	32.6	58.2	9.1
Oxisol (Wahiawa, HI)	0.5	24.0	67.8	7.7
Oxisol (Carimagua, Col)	0.3	10.3	87.6	1.8
<u>Muy altamente meteorizado:</u>				
Ultisol (Caucasia, Col)	0.2	8.8	90.9	0.0

* lábil= disponible; suma de P soluble y débilmente adsorbido

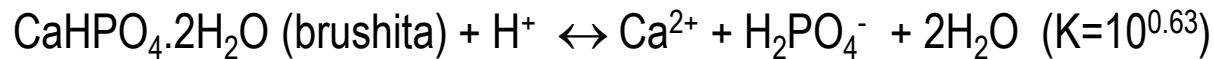
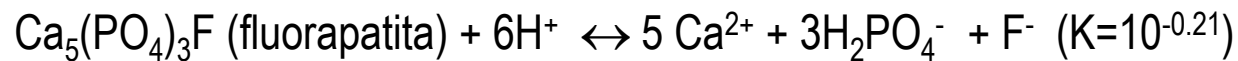
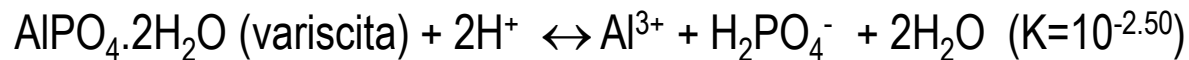
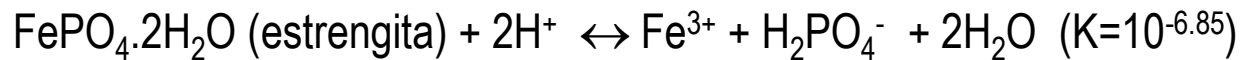
Fraccionamiento del P-mineral en suelos volcánicos de Colombia & Hawaii.

Fuente: Osorio (2008).

Suelo	P-lábil* (%)	P-Al (%)	P-Fe (%)	P-Ca (%)
<u>Poco meteorizado:</u>				
Vitrand (Letras, Col)	1.3	52.7	2.0	43.9
Xerand (Koko, HI)	5.8	31.9	21.0	41.3
Hydrudand (Honokaa, HI)	0.2	35.8	12.9	51.1
<u>Moderadamente meteorizado:</u>				
Melanudand (Guarne, Col)	0.4	71.3	2.4	25.9
Endoaquand (La Selva, Col)	0.4	71.0	9.2	19.4
Melanudand (Naranjal, Col)	1.0	79.7	7.5	11.8
Fulvudand (Tantalus, HI)	0.3	16.5	69.0	14.2

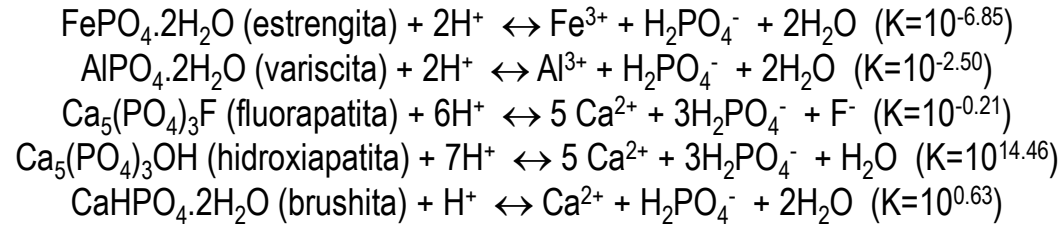
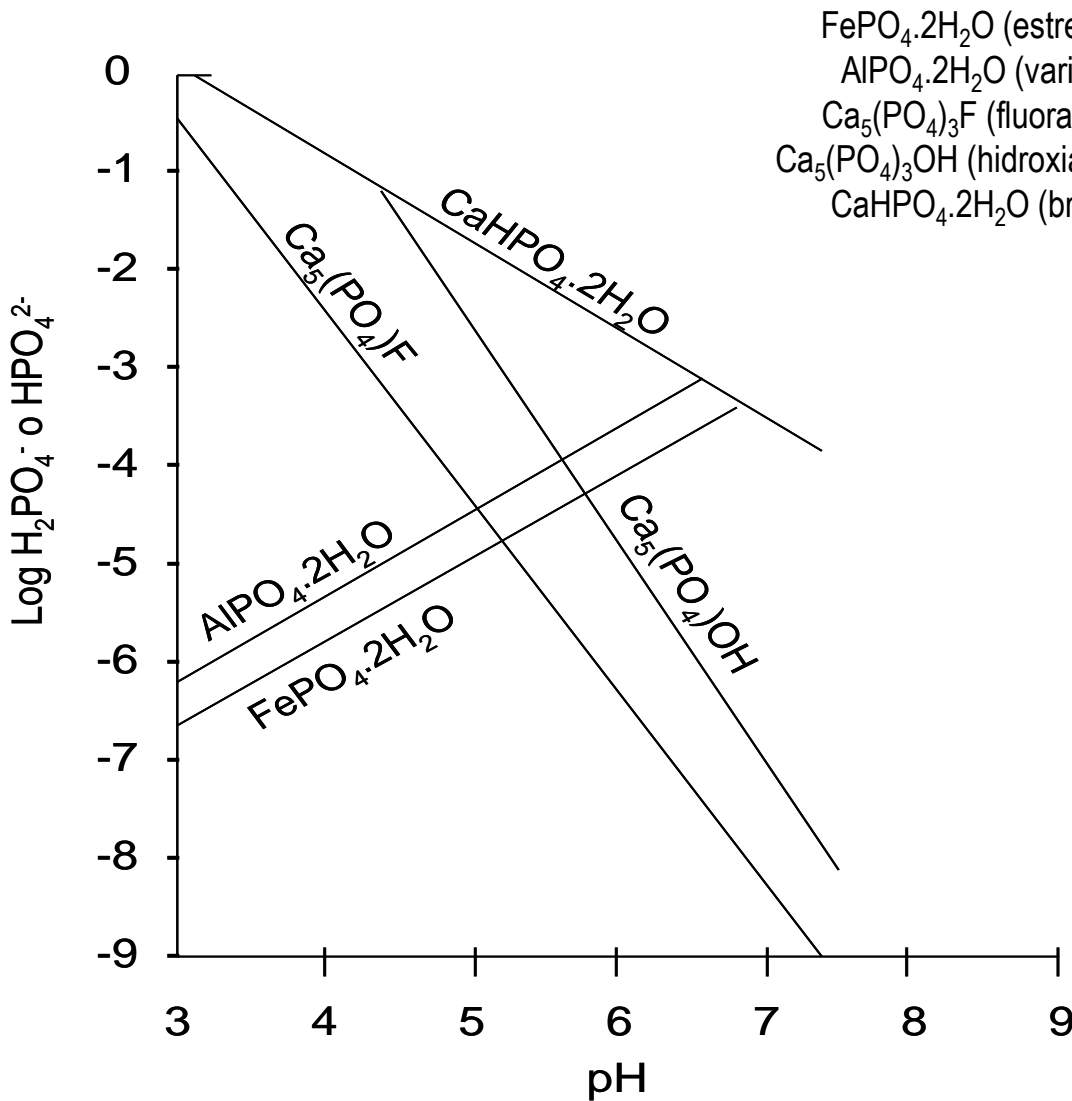
* labil= disponible; suma de P soluble y débilmente adsorbido

Disolución de minerales fosfóricos en el suelo

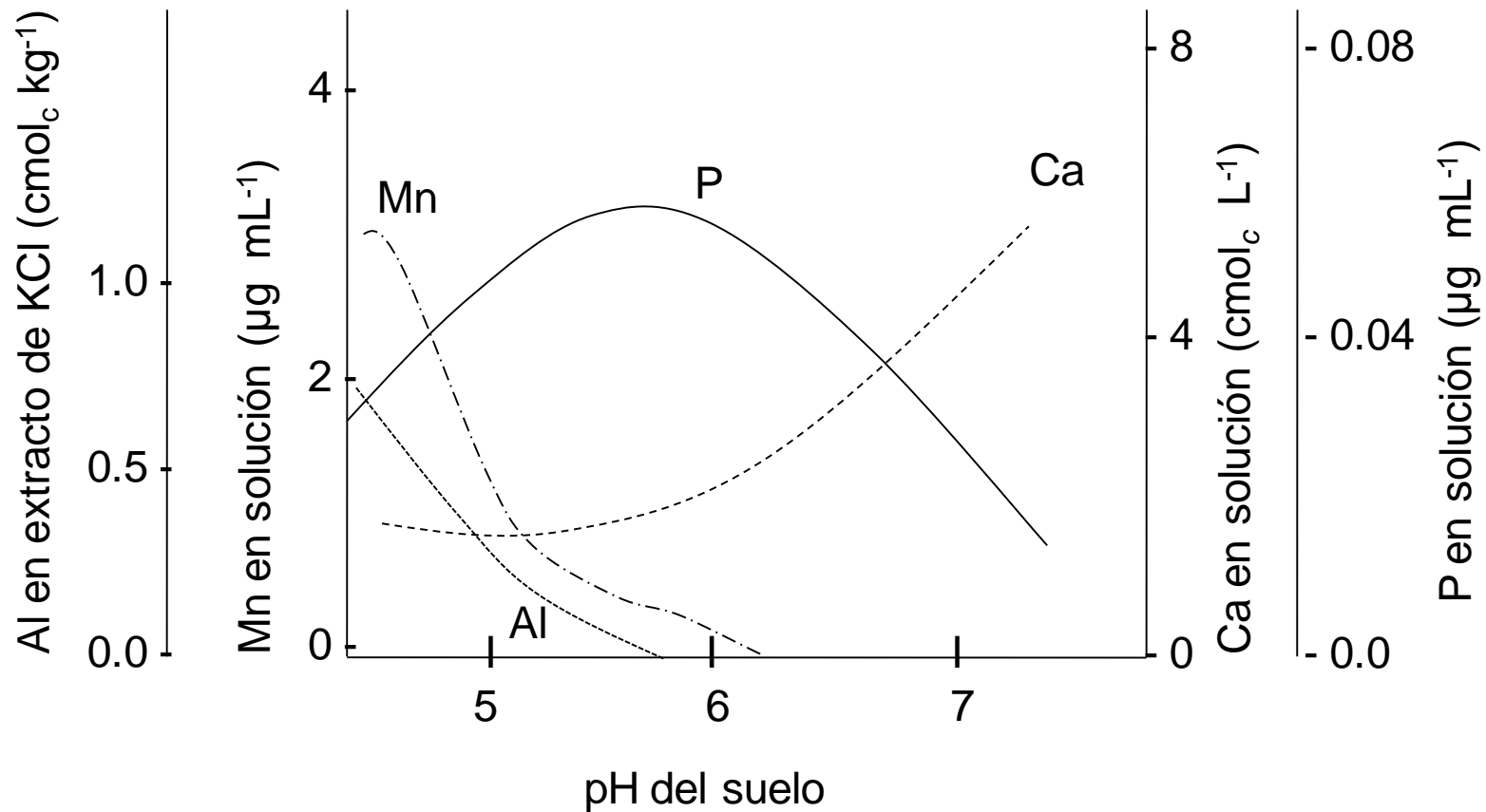


Solubilidad de fosfatos de calcio, variscita y estrengita en función del pH.

Fuente: Lindsay (2001)

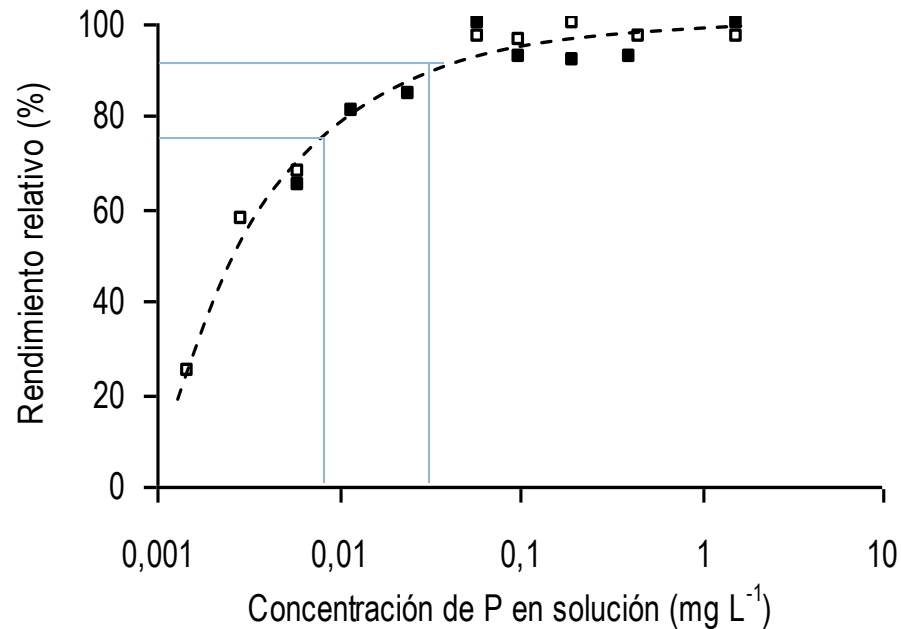


Efectos del pH (encalamiento)



Cambios en los niveles de Al, Ca, P y Mn en extractos de saturación en función del pH del suelo establecido a través de la aplicación de cal en un Oxisol

Disponibilidad de P en el suelo



Rendimiento relativo del maíz en función de la concentración de P en solución del suelo.

Los datos fueron obtenidos en estudios hechos en un Oxisol (cuadros negros) y Andisol (cuadros blancos) de Hawai'i.

Fuente: Fox (1971).

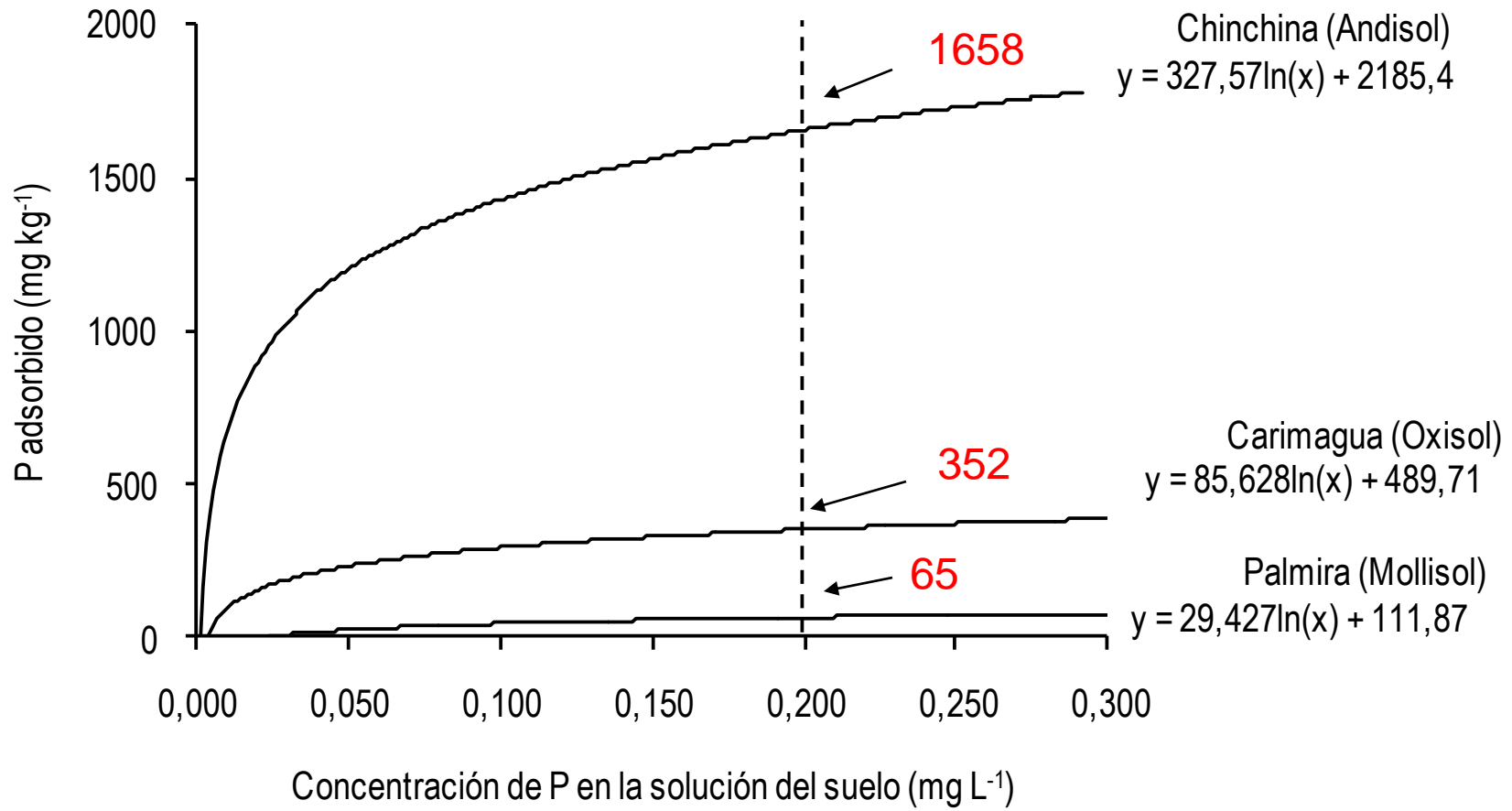
Concentración de P en la solución del suelo asociada al 95% del máximo rendimiento de varios cultivos. Fuente: Hue & Fox, 2010.

Cultivo	P en la solución del suelo (mg L ⁻¹)	Cultivo	P en la solución del suelo (mg L ⁻¹)
Caña de azúcar	0.01	Berenjena	0.2
Sorgo	0.06	Cebolla	1.6
Maíz	0.05	Cebolla micorrizal	0.4
Trigo	0.035	Yuca	0.005
Arroz	0.02	Batata, camote	0.1
Raigrás	0.1	Papa	0.18
Maní	0.01	Taro	0.05
Soya	0.2	Banano	0.05
Desmodium	0.2	Macadamia	0.008
Caupí	0.1	Crisantemo	0.17
Trébol blanco	0.3	Leucaena	0.2
Lechuga	0.3	Leucaena micorrizal	0.02
Repollo	0.2	Café	0.2
Tomate	0.2	Café micorrizal	0.02

Isotermas de adsorción de P de cuatro suelos de Colombia.

El valor de $P_{0.2}$ se utiliza para caracterizar la capacidad de fijación de P.

Fuente: N. W. Osorio



Requerimientos de P en la solución del suelo para varios cultivos tropicales.

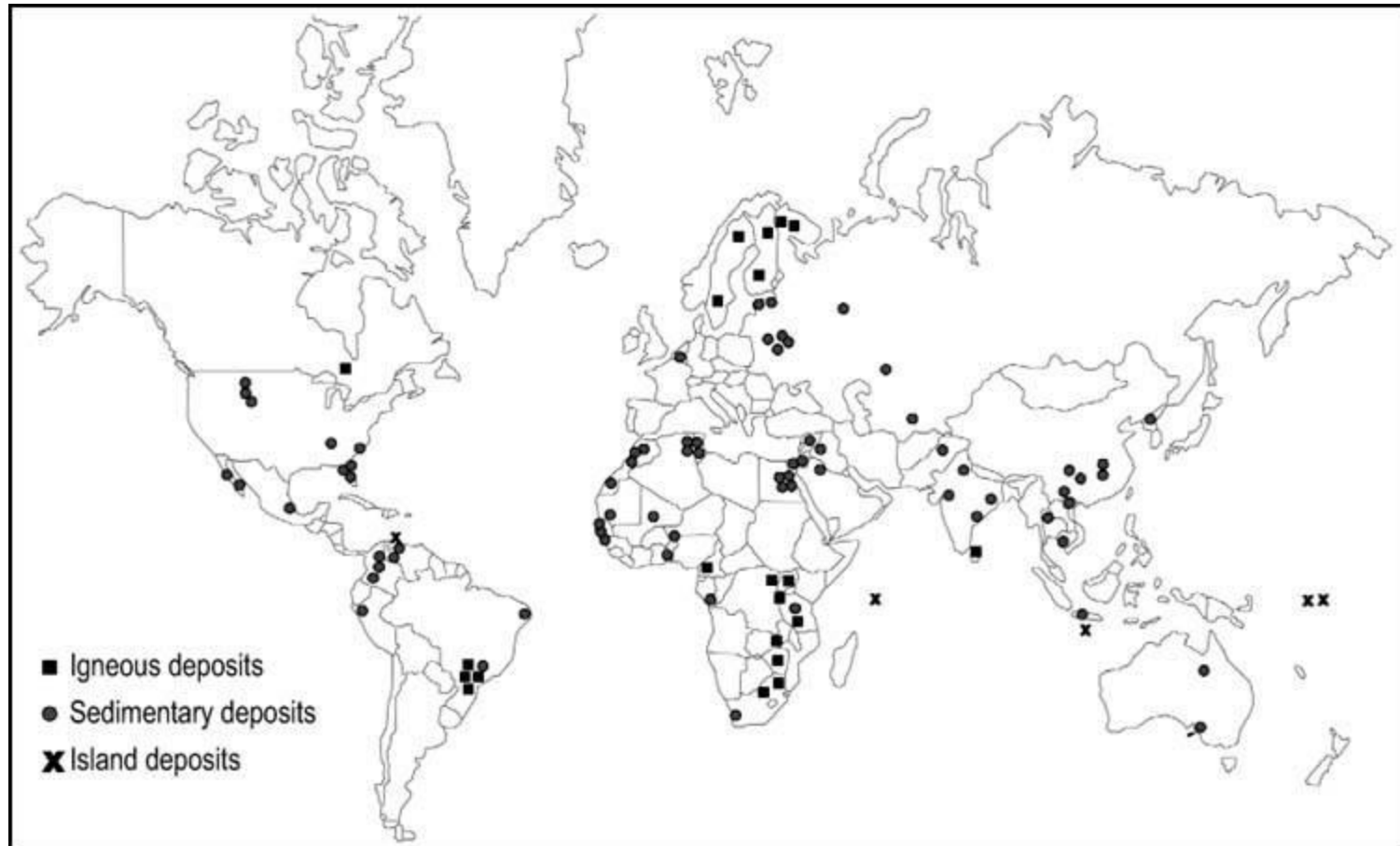
Fuente: Fox *et al.* (1974)

Cultivo	<u>P en solución (mg L⁻¹) para el rendimiento indicado</u>	
	75 %	95%
Yuca	0.003	0.005
Maní	0.003	0.01
Maíz	0.008	0.05
Trigo	0.009	0.028
Repollo	0.012	0.2
Papa	0.02	0.18
Soya	0.025	0.2
Tomate	0.05	0.2
Lechuga	0.10	0.3

Fertilizantes fosfóricos

- Se sintetizan a partir de la roca fosfórica
- Roca fosfórica es un mineral natural, bastante insoluble y de poca efectividad agronómica
- Usualmente se trata física y químicamente para hacerla más reactiva, más soluble

RP depósitos naturales



Roca fosfórica

Se obtiene de la mina:



Se muele finamente y se empaca:



Tratamiento de la RP

- Acidulación parcial: H_2SO_4 , H_3PO_4
- Roca fosfórica acidulada más reactiva, más soluble y de mayor efectividad agronómica
- Acidulación completa: se forma fertilizantes soluble: Superfosfato simple y triple
- Si se ponen a reaccionar con otros compuestos se sintetizan otros fertilizantes más solubles: DAP, MAP, FosfaK.

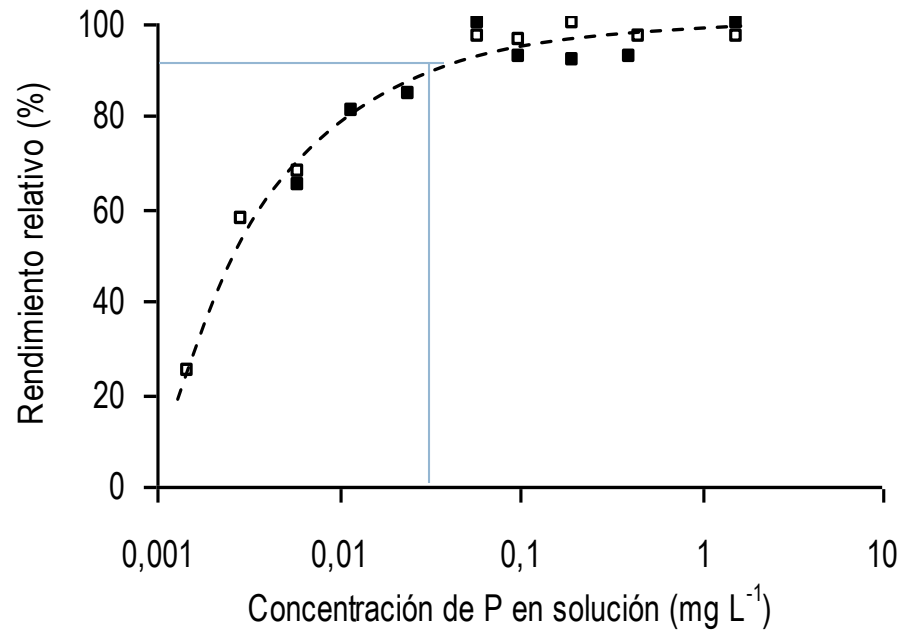


Materiales usados como fertilizantes fosfatados. ($P_2O_5 = P \times 2.29$).

Fertilizantes fosfóricos	Portador nutricional	P (%)	P_2O_5 (%)
Rocas fosfóricas	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$	10-12	22-28
Fosfato natural Carolina del Norte	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$	13	30
Fosfacid	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl) + Ca(H_2PO_4)_2$	11	26
Superfosfato simple	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	8	17
Superfosfato triple	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	20	44
Fosfato monoamónico	$NH_4H_2PO_4$	23	53
Fosfato diamónico	$(NH_4)_2HPO_4$	20	46
Acido fosfórico	H_3PO_4	23	53
Fosfato de potasio (fosfaK)	KH_2PO_4	23	52
Calfos, Escorias Tomas	$Ca_5(PO_4)_2SiO_2$	5	12



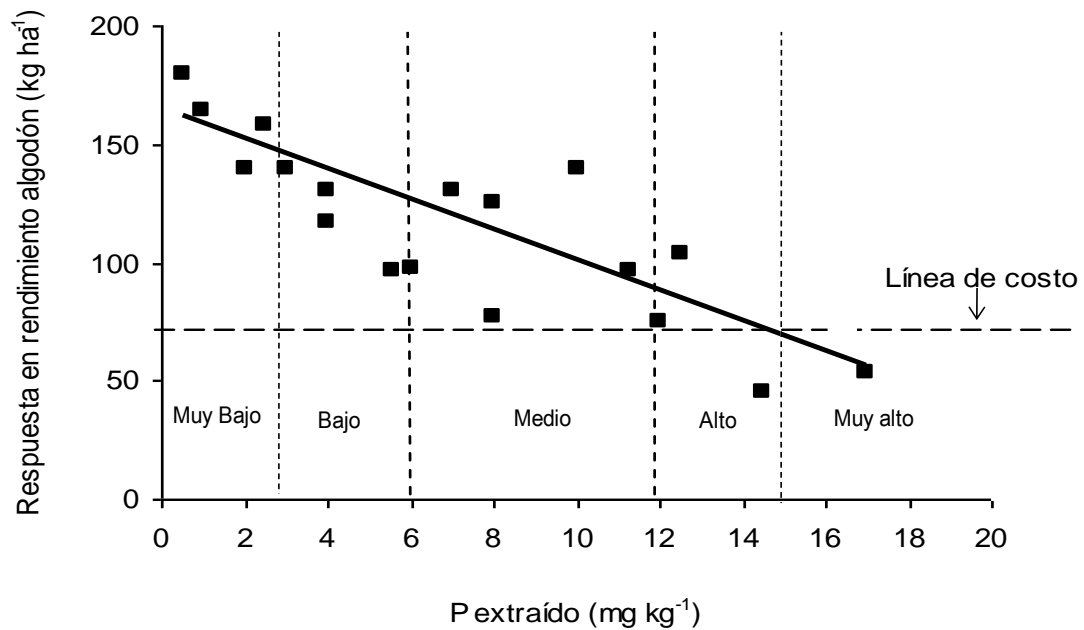
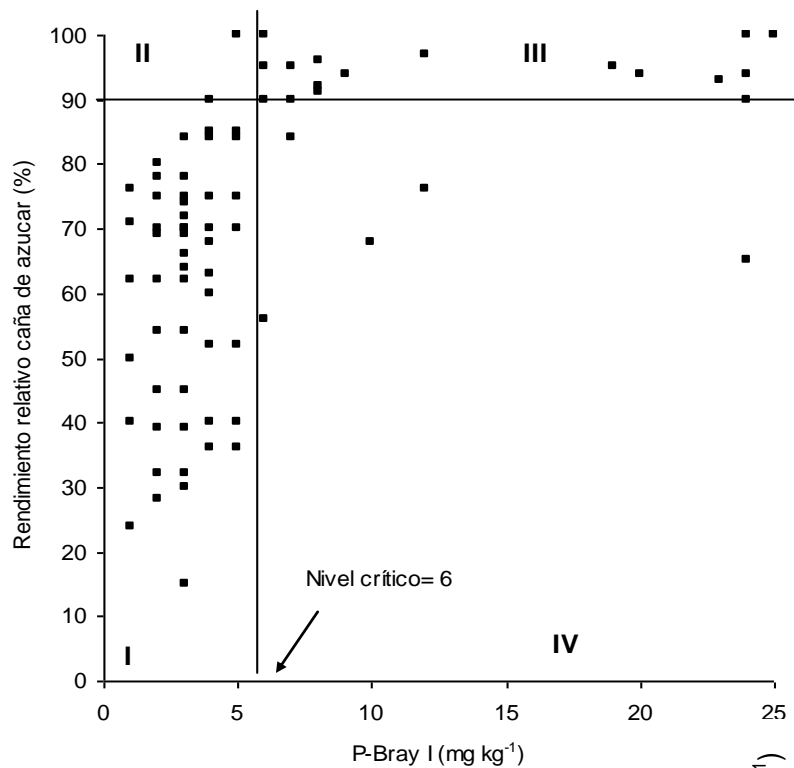
Efecto de la concentración de P en la solución del suelo sobre el rendimiento agrícola



Rendimiento relativo del maíz en función de la concentración de P en solución del suelo.

Los datos fueron obtenidos en estudios hechos en un Oxisol (cuadros negros) y Andisol (cuadros blancos) de Hawai'i.

Fuente: Fox (1971).



Interpretación de la concentración de P extraído por el método de Bray-II (mg kg^{-1}) para diferentes cultivos de Colombia.

Categoría	Brachiaria	Arroz	Kikuyo	Banano	Maíz	Algodón	Papa	Crisantemo
Bajo	<5	<10	<10	<12	<15	<30	<40	<80
Medio	5-10	10-20	10-20	12-20	15-30	30-60	40-60	80-100
Alto	>10	>20	>20	>20	>30	>60	>60	>100

Cantidad de P a aplicar en función de la concentración de P extraído por el método de Bray-II para diversos cultivos de Colombia. Fuente: ICA (1992), ^aSadeghian (2008).

Cultivo	P-Bray II (mg kg ⁻¹)	Fertilización (kg de P ha ⁻¹)	Cultivo	P-Bray II (mg kg ⁻¹)	Fertilización (kg de P ha ⁻¹)
Yuca	< 10	44-54	Algodón (Costa Atlántica)	< 30	22-30
	10-20	33-44		30-60	13-22
	> 20	0-33		> 60	0-13
kikuyo	< 10	22-33**	Arroz	< 10	17-35
	10-20	11-22**		10-20	9-17
	> 20	0-11		> 20	0-9
Cacao	< 15	44-54****	Hortalizas	< 20	44-65
	15-30	22-44		20-40	22-44
	> 30	0-22		> 40	0-22
Piña	< 10	33-44	Maíz	< 15	22-33
	10-20	22-33		15-30	11-22
	> 20	0-22		> 30	0-11
Braquiaria	< 5	22-33**	Banano (Urabá)	< 12	60-80*
	5-10	11-22		12-20	40-60
	> 10	0-11		> 20	20-40
Café ^a	<10	26			
	10-20	17			
	20-30	9			
	>30	0			

Enmiendas orgánicas

- Residuos de origen vegetal o animal, frescos o compostados, que se aplican al suelo para aportar nutrientes, mejorar actividad biológica y reducir el impacto del daño físico del suelo
- La composición es variable, esto depende del tipo de material, tratamiento, animal, dieta, etc.

Enmiendas orgánicas

- Prácticamente todo tipo de residuo de origen vegetal y animal se pueden usar como enmienda al suelo.
- Entre estos materiales se tienen:
 - Residuos de cosecha fresco
 - Compost
 - Estiércol animal (gallinaza, porcinaza, bovinaza)
 - Harina de sangre, de huesos
 - Biosólido
 - Mulch

□ Abonos orgánicos (estiércol fresco)



Usualmente se aplica sólido o en suspensión con agua

La dosis es muy variable, usualmente fluctúa entre 1-10 t/ha

□ Compost



- Residuos vegetales + estiércol que se apilan para su descomposición aeróbica.

- Se generan altas temperaturas (hasta 60-70°C)

- 1-3 meses

- El contenido de nutrientes, particularmente N es más bajo en el material compostado que en el fresco.

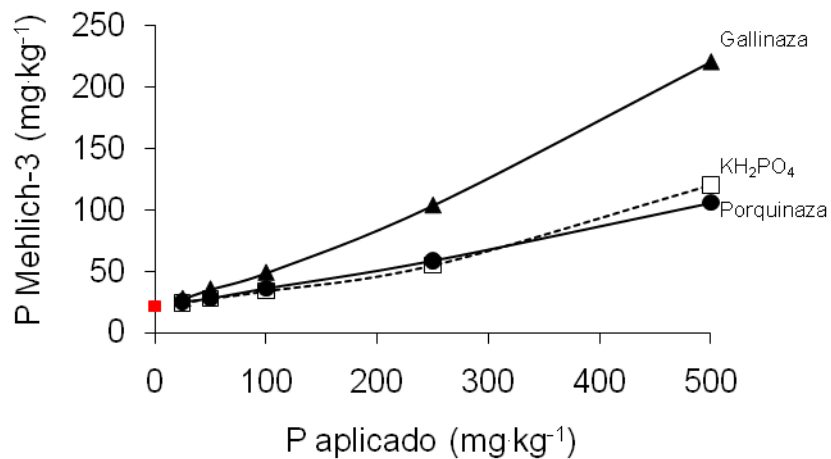
- Se generan altas temperaturas (hasta 60-70°C)



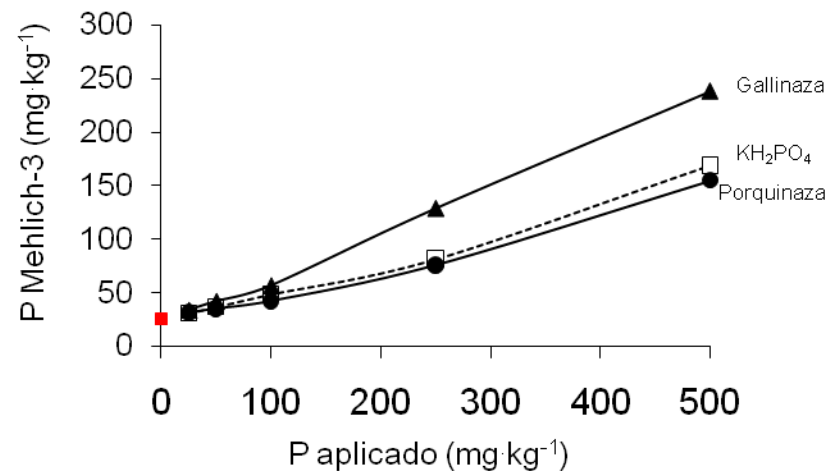
Contenido elemental (%) de enmiendas orgánicas usadas en agricultura

Material	N	P	K	Ca	Mg	S
Pulpa de cafe	3.3	0.2	4.1	1.0	0.2	0.3
Gallinaza	2.5	2.8	2.5	9.8	0.8	0.1
Porquinaza	3.5	0.9	4.6	2.2	0.1	0.1
Harina sangre	2.3	0.5	0.6	0.95	0.3	0.2

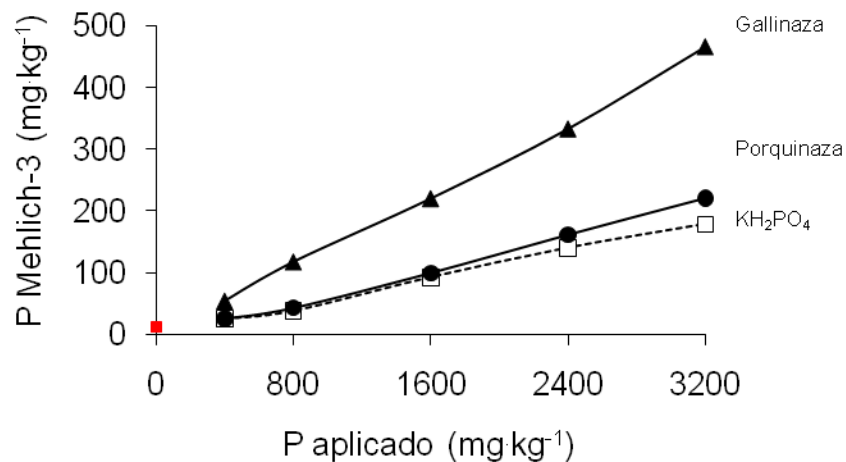
P Mehlich-3 en un Mollisol fertilizado con 3 fuentes de P (90 dda)



P Mehlich-3 en un Oxisol fertilizado con 3 fuentes de P (90 dda)



P Mehlich-3 en un Andisol fertilizado con 3 fuentes de P (90 dda)

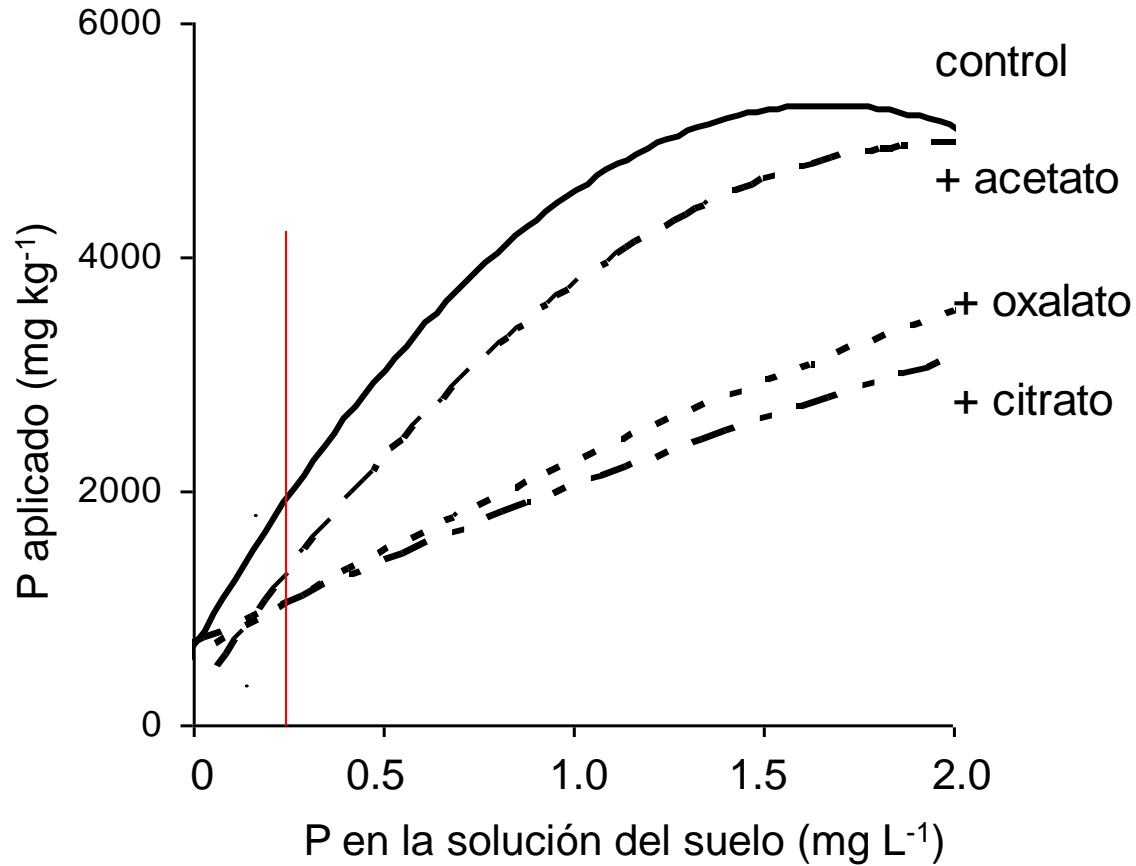


La adición de enmiendas orgánicas puede aumentar la disponibilidad de P en el suelo, tanto como los fertilizantes-P solubles

En las enmiendas orgánicas

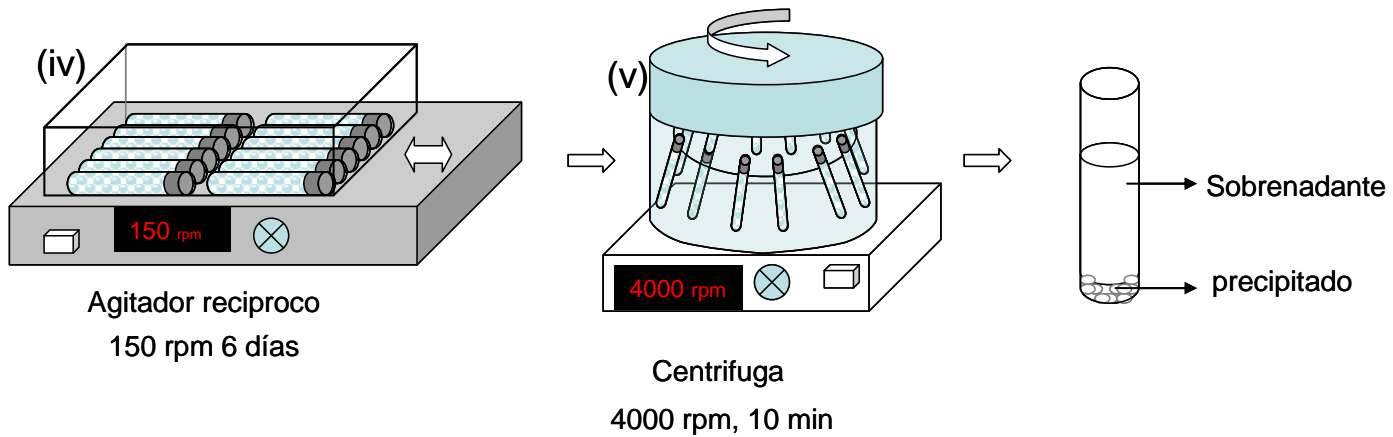
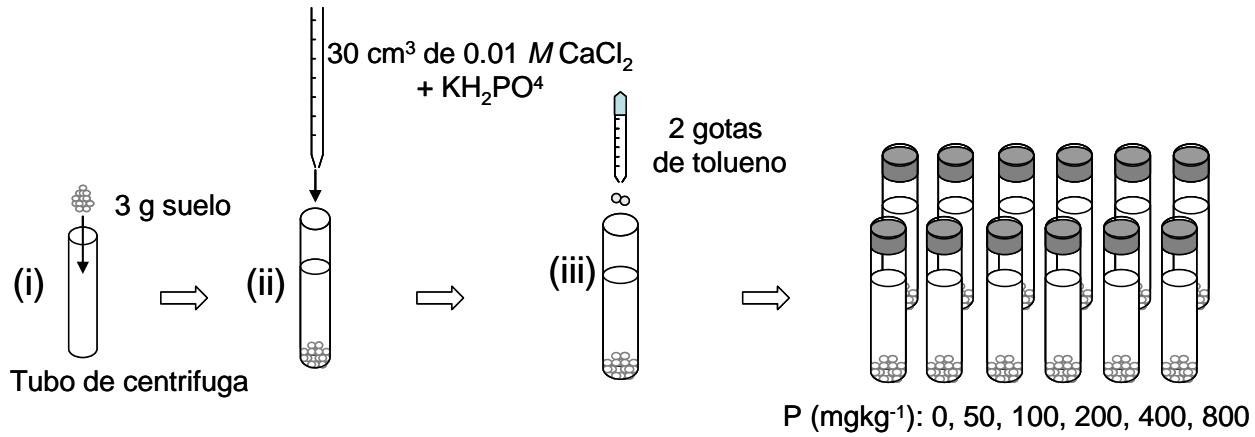
- Hay actividad microbial
- Actividad enzimática (digestión)
- Enzimas liberan fosfato para que sea asimilado por el animal (a partir de sus alimentos (forraje, concentrados))
- Parte del fosfato no es absorbido y sale en las excretas. Si se utiliza estiércol fresco habrá mucho fosfato libre (~40%)
- Si se composte el material orgánico, se espera que más proporción este como fosfato (~50-60%)

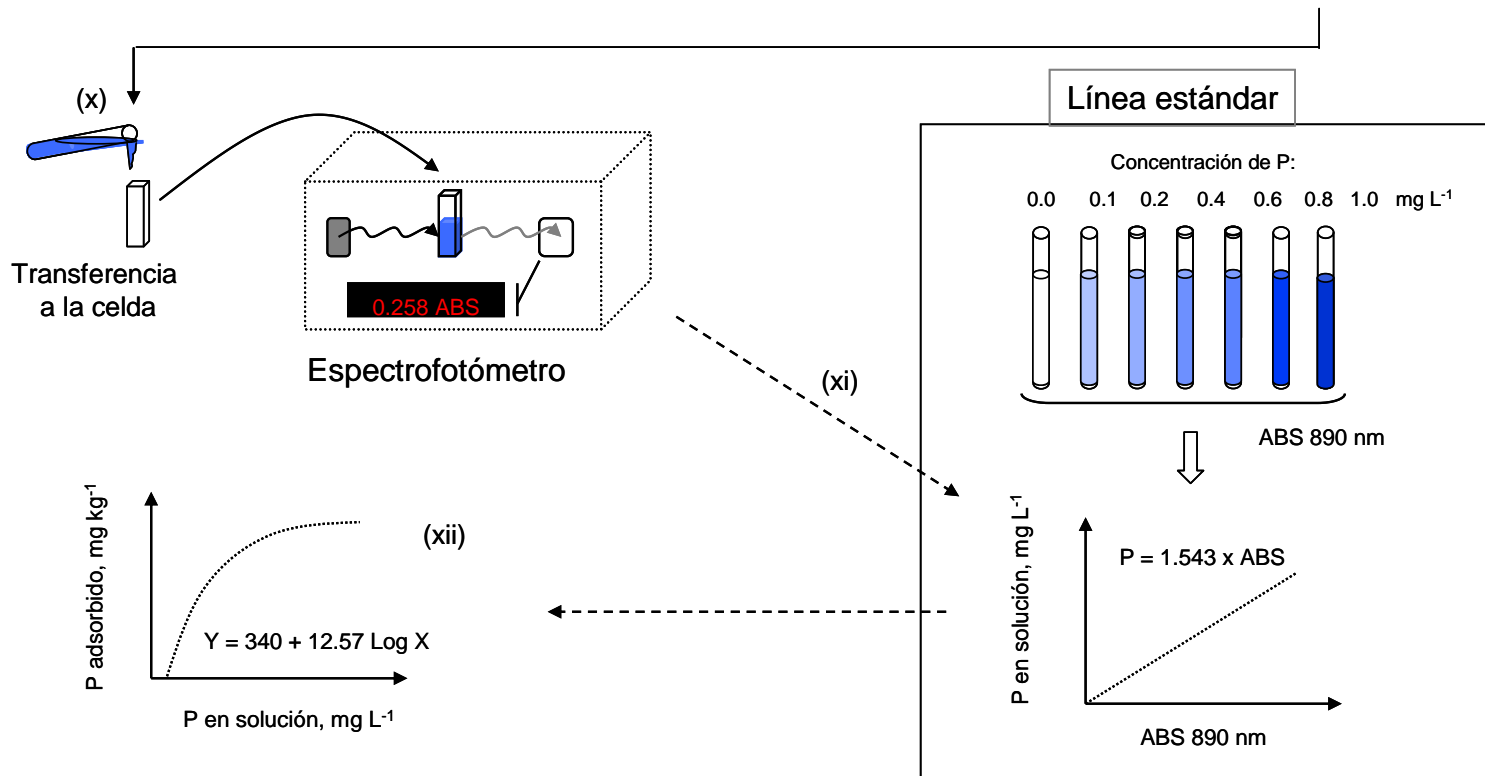
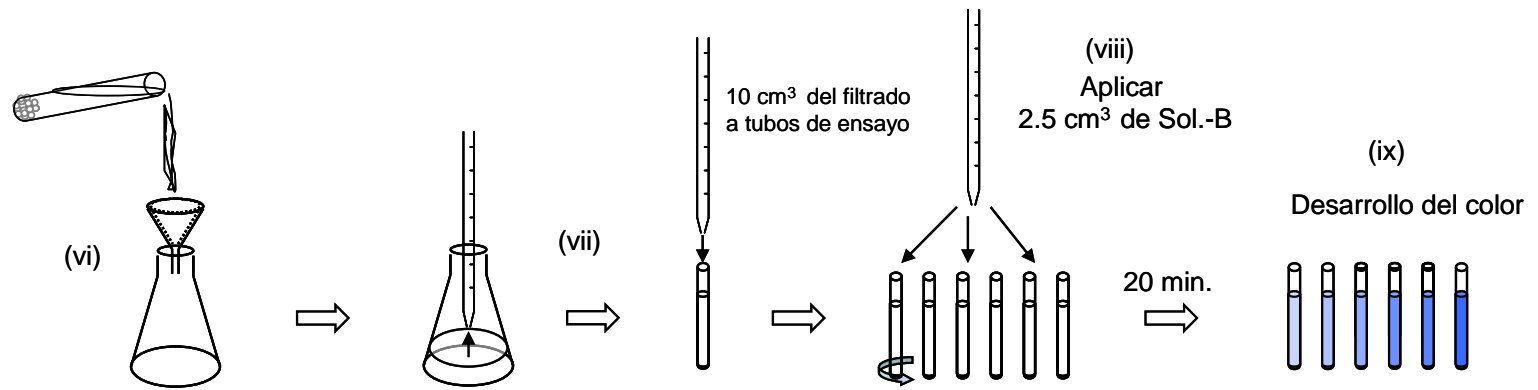
Efecto de aniones orgánicos en la fijación de P en un andisol





Isoterma de adsorción de P



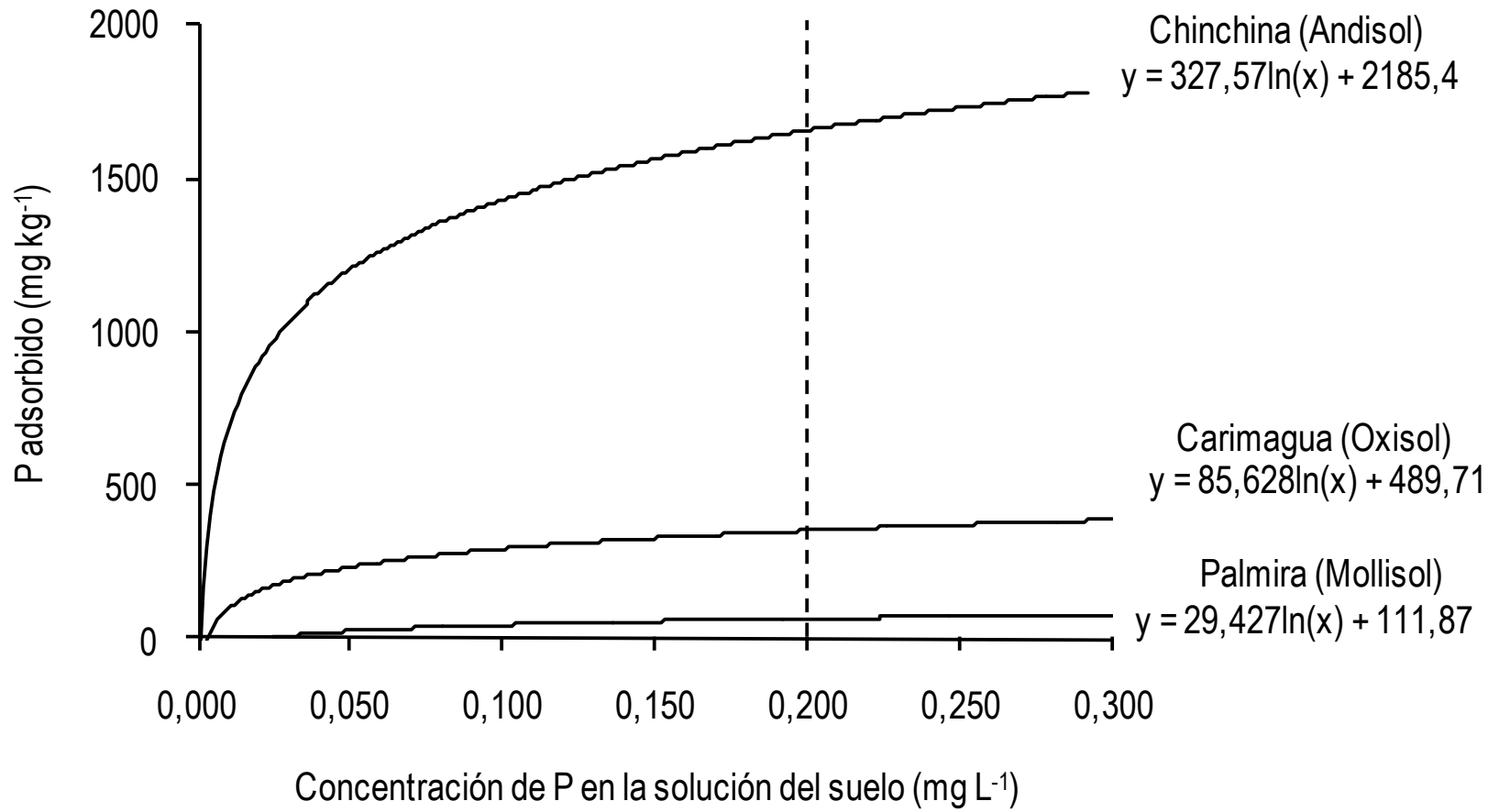




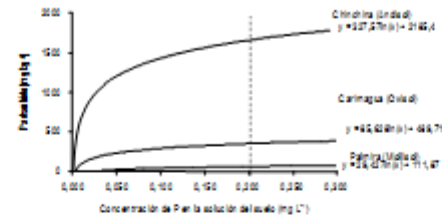
Uso de isoterma para medir el requerimiento de P por cultivos

Isotermas de adsorción de P de cuatro suelos de Colombia.
El valor de $P_{0.2}$ se utiliza para caracterizar la capacidad de fijación de P.

Fuente: N. W. Osorio



Uso de los sistemas de adsorción para determinar los requerimientos de fertilizante fosforico:



La figura ilustra los sistemas de adsorción de P en tres suelos

Las ecuaciones se puede insertar en la hoja de calculo, de tal manera que se puede insertar en una celda la concentración deseada y en otra aparezca la cantidad de P que se requiere aplicar. La concentración deseada se toma en función del cultivo y el rendimiento esperado.

Por ejemplo, para Cirsio se requiere una concentración de P en solución de 0,17 mg/L.

Esto permitirá tener cerca del máximo potencial de producción.

P en solución (mg/L)	P requerido (mg/kg) para cada suelo	Mil tol	Oxal	Andol
0,17		60	338	1605

Una vez se aplica estas cantidades y se siembra el suelo, se espera que con el tiempo la cantidad de P que se aplica sea menor. Por lo anterior, se requiere aplicar de nuevo P, por supuesto en menor cantidad.

Para esto se calcula la cantidad de P que originalmente se requirió para obtener la concentración de P que se tiene y luego se resta de la cantidad inicialmente aplicada.

Por ejemplo, supongamos que 6 meses después el suelo tiene una concentración de P en la solución del suelo de 0,12 mg/L.

P en solución (mg/L)	P requerido (mg/kg) para cada suelo	Mil tol	Oxal	Andol
0,17		60	338	1605
0,12		69	308	1491
Diferencia =		10	30	114

Así, la fertilización de este biofertilizante en una era de 36 m² y 20 cm de profundidad sería:

Para el caso del Andol (0,8 Mg/m³): Masa de suelo de la era = 4320 kg/era

Si se usa DAP (18-46-0)

1800 mg P/kg suelo = 4320 kg suelo/era = 1 kg P /100 kg P * 100 kg DAP/20 kg P = 34,7 kg DAP/era

La fertilización de mantenimiento sería: 2,9 kg DAP/era

Las cantidades de P a aplicar son muy altas, lo cual es propio de los Andoles dada su muy alta capacidad para fijar P sobre sus superficies e incluso, particularmente la de la sílice y greda.

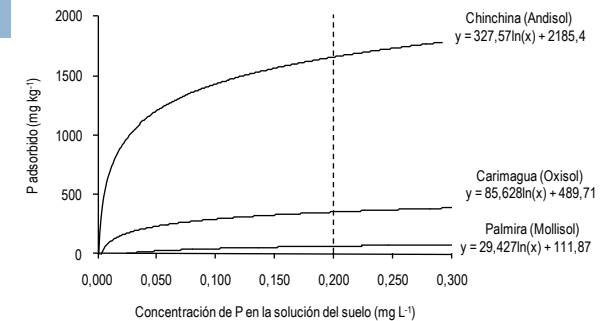
Ver Hoja de calculo en Excel

Determinación del requerimiento de P

□ Tomate:

para obtener 75% máx. rendimiento se requiere 0.05 mg/L sln suelo

P en solución (mg/L)	P requerido (mg/kg) para cada suelo		
0,05	Mollisol	Oxisol	Andisol
	24	233	1204



Mollisol:

$$\frac{24 \text{ mg P}}{\text{kg suelo}} \times \frac{5 \text{ kg suelo}}{\text{sitio}} \times \frac{1 \text{ g P}}{10^3 \text{ mg P}} \times \frac{100 \text{ g DAP}}{20 \text{ g P}} = \underline{0.6 \text{ g DAP}} \text{ sitio}$$

Oxisol:

$$\frac{233 \text{ mg P}}{\text{kg suelo}} \times \frac{5 \text{ kg suelo}}{\text{sitio}} \times \frac{1 \text{ g P}}{10^3 \text{ mg P}} \times \frac{100 \text{ g DAP}}{20 \text{ g P}} = \underline{5.8 \text{ g DAP}} \text{ Sitio}$$

Andisol

$$\frac{1204 \text{ mg P}}{\text{kg suelo}} \times \frac{3.5 \text{ kg suelo}}{\text{sitio}} \times \frac{1 \text{ g P}}{10^3 \text{ mg P}} \times \frac{100 \text{ g DAP}}{20 \text{ g P}} = \frac{21 \text{ g DAP}}{\text{sitio}}$$

Las cantidades de P a aplicar se pueden reducir si se emplean otras practicas:

- Uso de enmiendas orgánicas que no sólo aportan P, sino también reducen la fijación de P
- Uso de hongos micorrizales que disminuyen la cantidad de P en solución, usualmente a 0.02 mg /L
- Uso de enmiendas con silicatos que reducen la fijación de P
- Uso de microorganismos solubilizadores de P que liberan ácidos orgánicos y así reducen la fijación de P

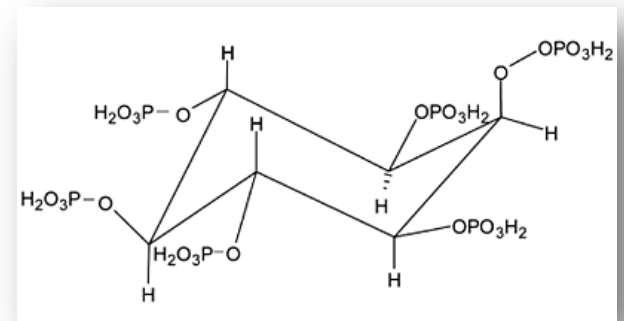
En el caso de emplear hongos micorrizales, la cantidad de DAP a aplicar sería

P en solución	<u>P requerido (mg/kg) para cada suelo</u>		
(mg/L)	Mollisol	Oxisol	Andisol
0,02	0	155	904
DAP g/planta	0	3.8	15.0

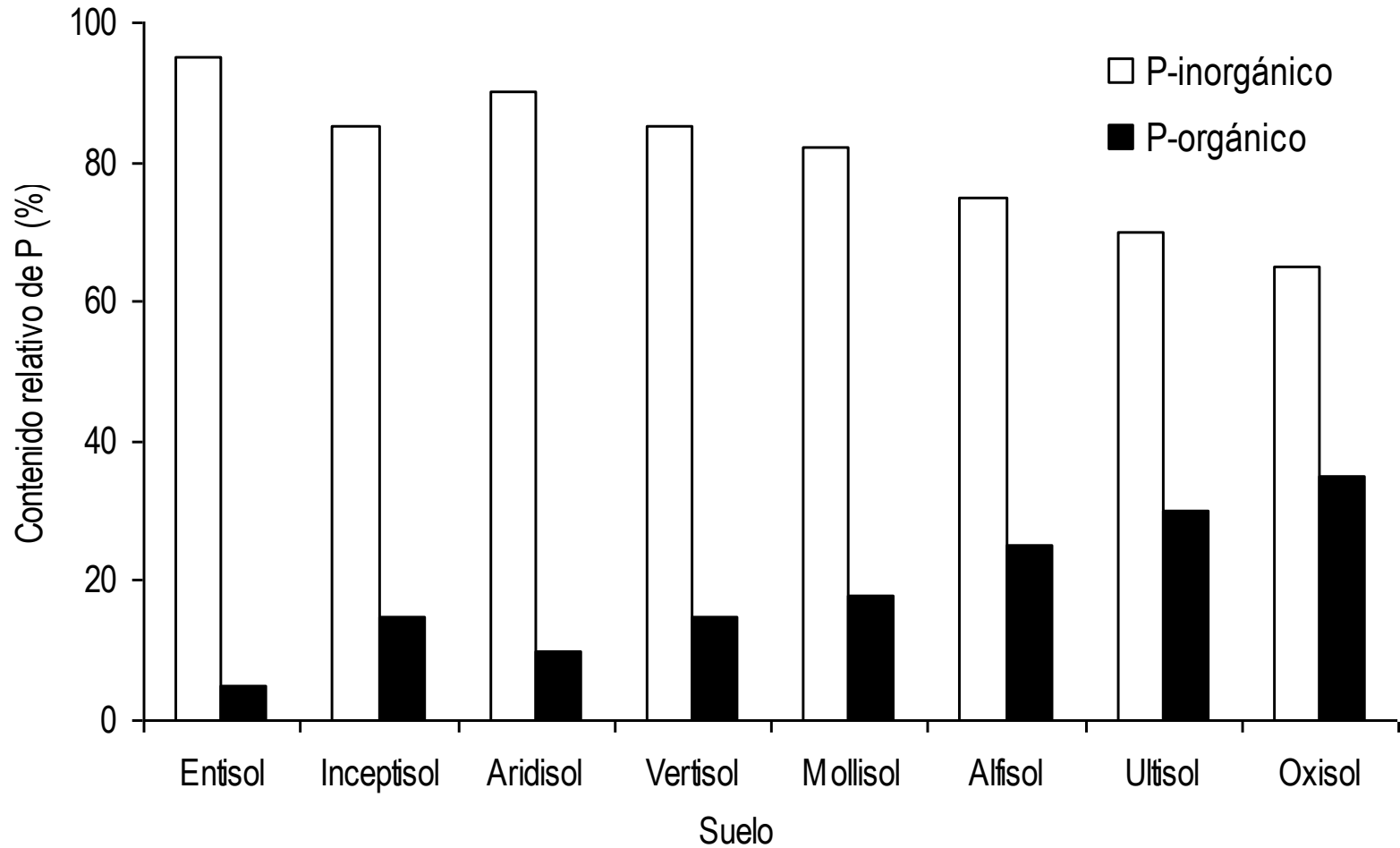


Fosfato orgánico del suelo

- Pi unido a compuestos carbonaceos
- Buena parte está en forma de inositol de fosfato
- Fosfolipidos
- Fosforazucares
- ATP, ADN



Proporción relativa de P-inorgánico y P-orgánico en suelos con diferente grado de evolución.
Fuente: Cross y Schlesinger (1995).



Fracciones de P en función del **tiempo de evolución** del suelo en una cronosecuencia de Hawai'i. Fuente: adaptado de Crews *et al.* (1995).



Fósforo orgánico y fosfatasa

