

Caracterización de distintas formas de fósforo en suelos agrícolas y forestales

Francisco Lafuente

GIR UVa: Suelos: Calidad y Sostenibilidad

Jornada Phos4Cycle. Palencia 20 de marzo de 2025

Interreg
Sudoe



Co-funded by
the European Union

Phos4Cycle

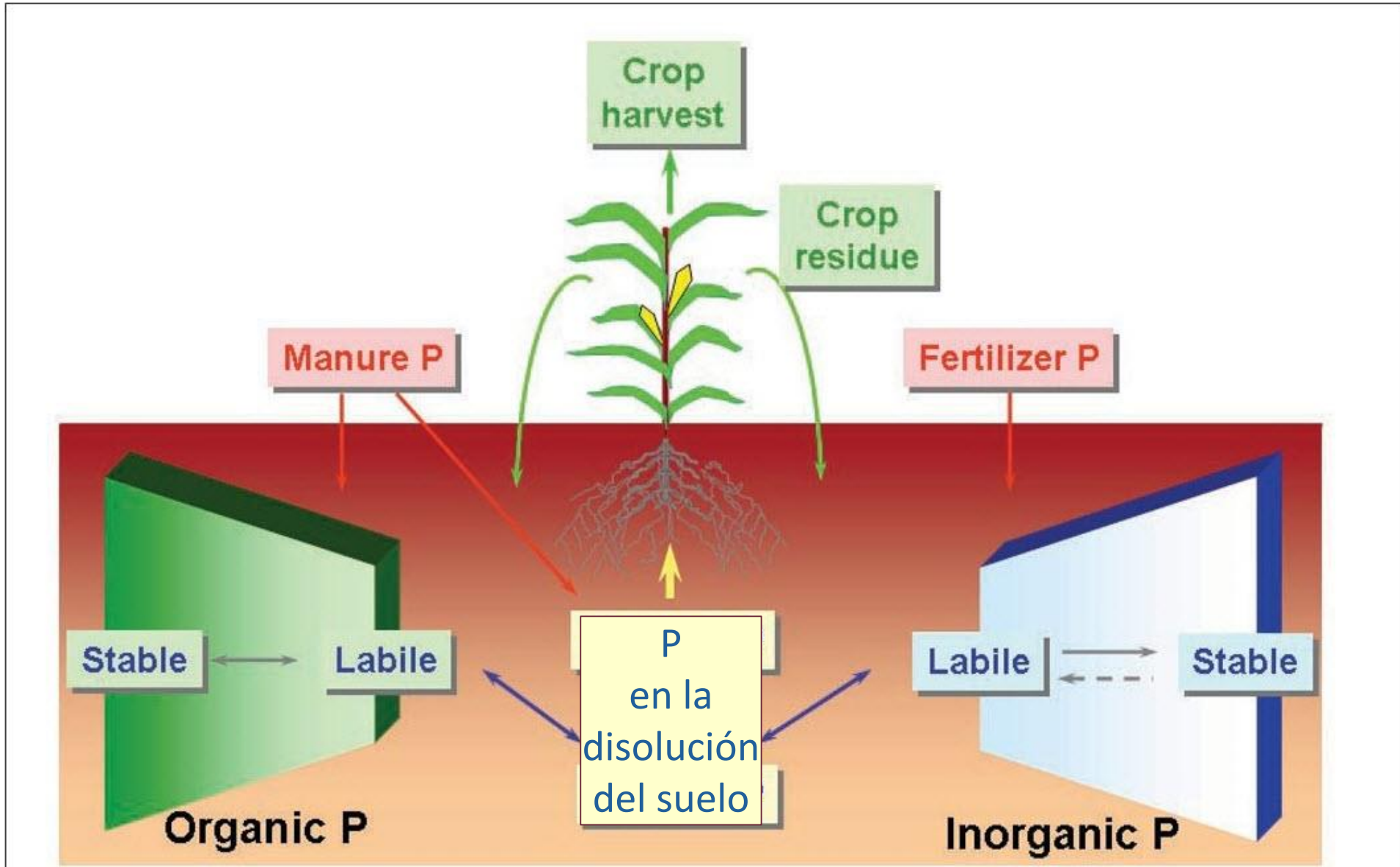


itagra.ct
CENTRO TECNOLÓGICO
AGRARIO Y AGROALIMENTARIO

INDICE

- Fósforo en el suelo
 - Formas de P
 - Balance
 - Efecto del pH en la disponibilidad
- Métodos de análisis de P asimilable (o disponible)
- Niveles de P Olsen en suelos de Castilla y León
- Fraccionamiento de P
- Métodos para determinar riesgo de contaminación de P

Formas de Fósforo (P) en el suelo



PÉRDIDAS
Extracción plantas

APORTES

PLANTA

Residuos del cultivo

Mineralización

Abonos orgánicos

Fertilizantes inorgánicos

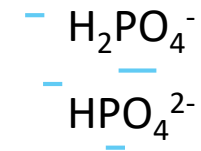
Lixiviación (lavado)

Erosión (arrastre)

Minerales del suelo



Iones fosfato

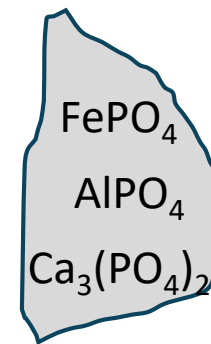
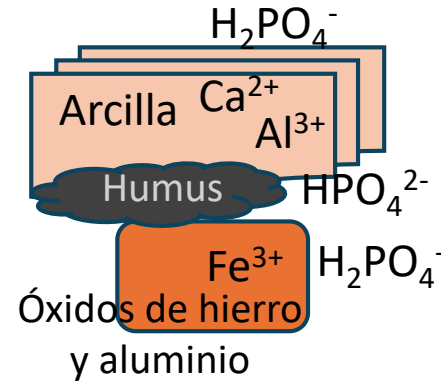


Directamente disponible

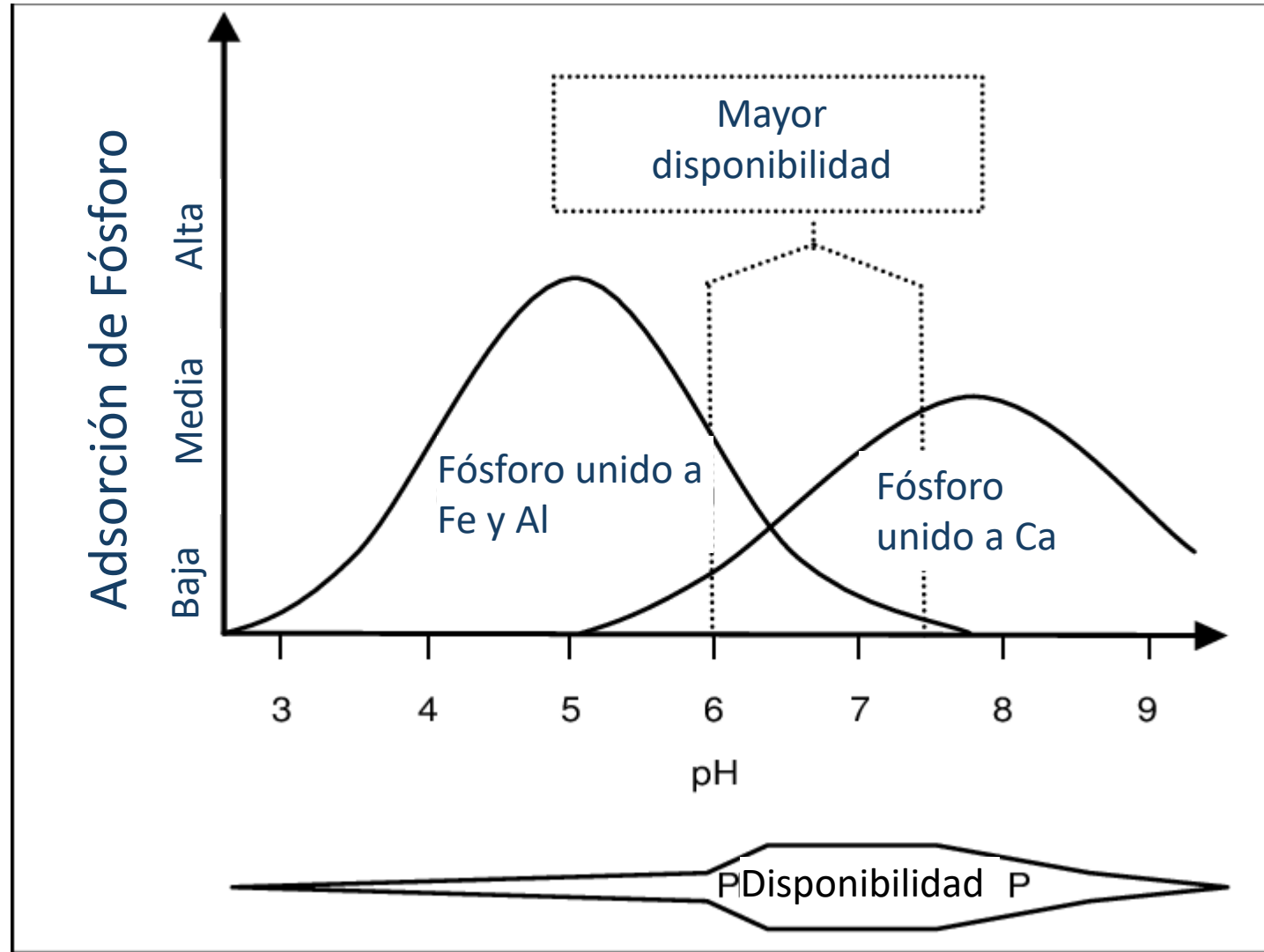
Fácilmente disponible

Disponibilidad intermedia

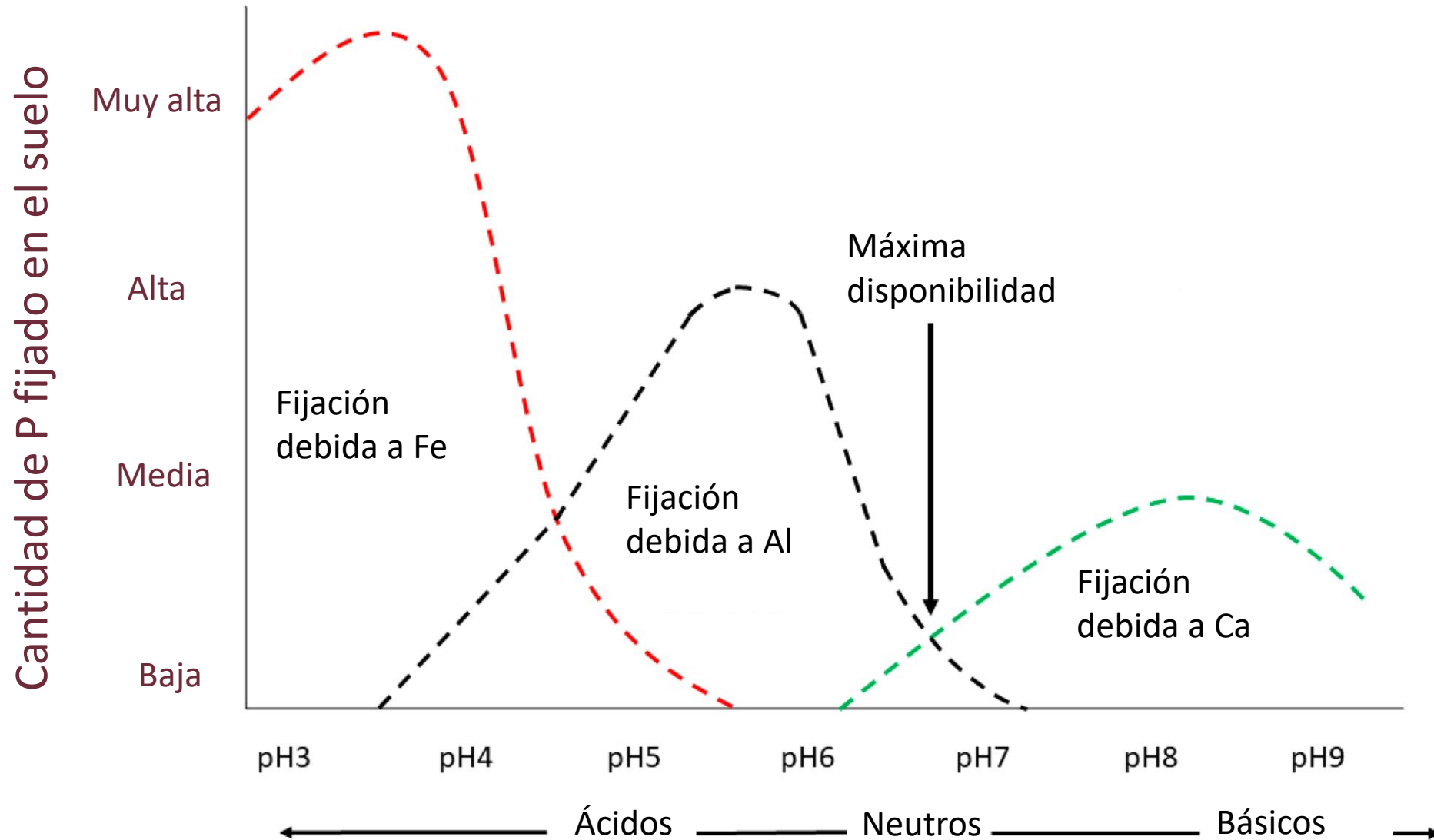
Lentamente disponible



Efecto del pH en la disponibilidad de Fósforo



Efecto del pH en la disponibilidad de Fósforo



MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FÓSFORO ASIMILABLE EN SUELOS

- Buscan determinar disponibilidad de P **para las plantas**.
- Muchos simulan el **efecto** de extracción de las **raíces**.
- **Gran diversidad** de métodos de extracción:
 - Para adaptarse al tipo de suelo (según pH principalmente).
 - Por tradición en cada país.
 - Por modificaciones de algunos métodos.
- La cantidad de P extraído es distinta según el método utilizado.
- Para un mismo método las clases de fertilidad y por tanto las dosis recomendadas de fertilización fosfatada varían entre países y dependen del cultivo y características del suelo (textura principalmente).

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FÓSFORO ASIMILABLE

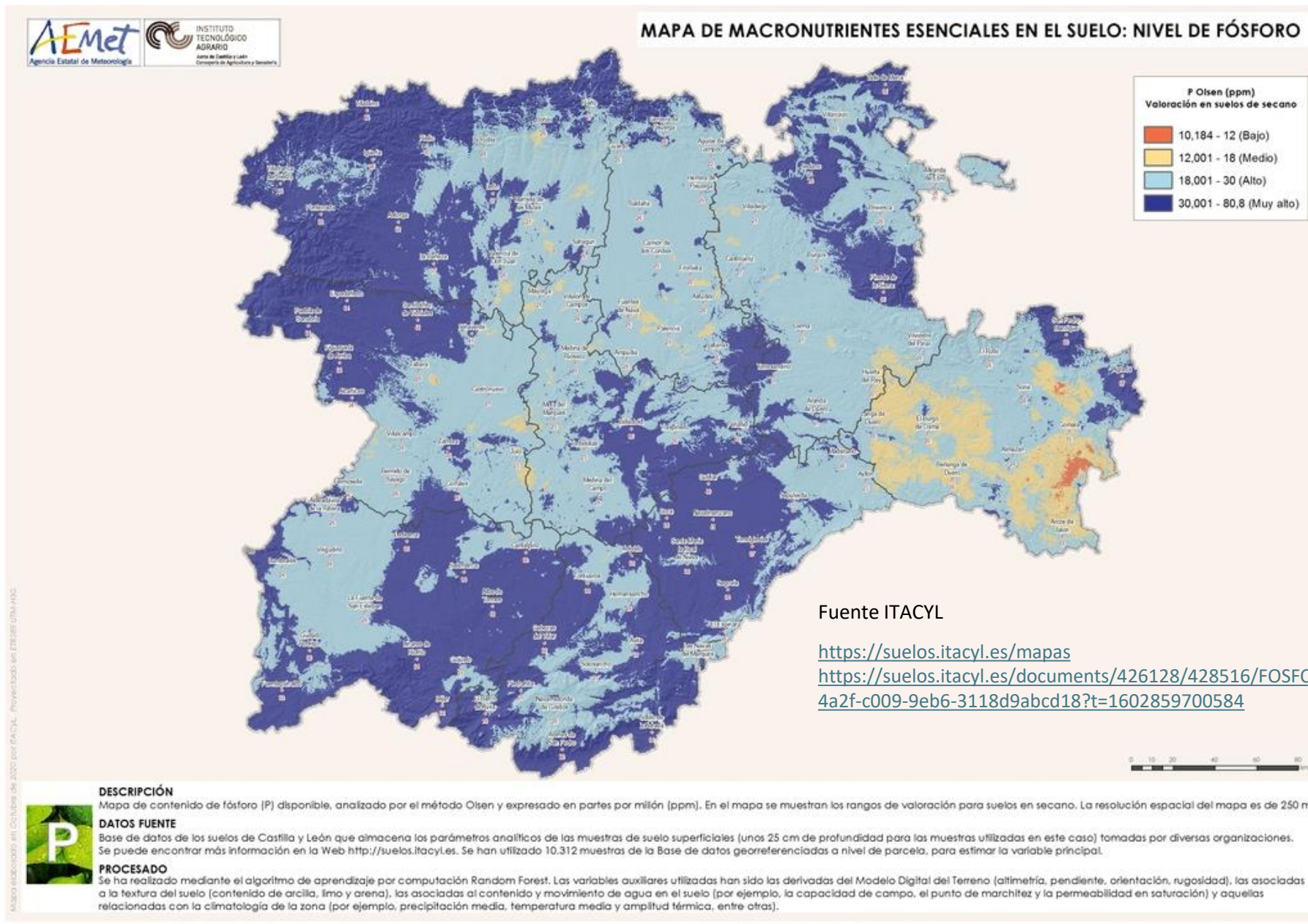
Extractantes

- **Ácidos diluidos:** métodos de Bray, Dyer, Truog, Mehlich y Egnér et al.
- **Complejantes:** de los cationes unidos al P, junto con la desorción de P de las superficies de carbonato de calcio o de hidróxidos de Fe y Al a través del uso de aniones como el acetato (Morgan y Mehlich), fluoruro (Bray y Mehlich) y lactato (Egnér et al.).
- **Precipitantes:** de los cationes unidos al P (método Olsen).
- **Agua + Intercambiadores aniónicos:** Resinas, tiras o papel impregnado de óxido de hierro.

Los más utilizados

- **Olsen** (NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5). Para todo tipo de suelos. Buena correlación con la cantidad de fósforo disponible para las plantas. El más usado en Europa del Sur.
- **Bray I** (0,025 M HCl and 0,03 M NH_4F). Para suelos ácidos.
- **Mehlich 3:** Método multinutriente usado en una amplia gama de suelos.

Niveles de P Olsen en suelos de Castilla y León



Extracción secuencial de Tiessen and Moir (1993)

Extractante

0,5 g suelo en tubo de centrifuga de 50 ml

Agua + Membrana
16 h agitación

Suelo

Membrana +
ácido clorhídrico

Forma de P extraído

P soluble y muy débilmente adsorbido
(altamente disponible para las plantas)

NaHCO₃ 0,5 M
16 h agitación

Residuo

P muy lábil y
débilmente
adsorbido

P inorgánico débilmente adsorbido

P orgánico fácilmente mineralizable

NaOH 0,1 M
16 h agitación

Residuo

P moderad. lábil y
fuertemente adsorbido
sobre óxidos de Fe y Al

P inorgánico fuertemente adsorbido

P orgánico lentamente mineralizable

HCl 1,0 M
16 h agitación

Residuo

P fuertemente fijado sobre
minerales de Ca

HCl concentrado
15 minutos a 90 °C;
16 h agitación

Residuo

P estable

HClO₄ concentrado
Digestión a 230 °C

Residuo

P muy estable

Estudios de fraccionamiento realizados

- **Adición de compost de residuos urbanos a suelos forestales quemados**

Resultados:

- El efecto del incendio a largo plazo redujo la disponibilidad de fósforo en el suelo, al pasar a formas menos solubles.
- La adición de compost aumentó la solubilidad de fósforo en la mayoría de las fracciones analizadas, aumentando su disponibilidad a corto y medio plazo.

María-Belén Turrión, Teresa Bueis, Francisco Lafuente, Olga López, Esther San José, Alexandros Eleftheriadis, Rafael Mulas (2018) Effects on soil phosphorus dynamics of municipal solid waste compost addition to a burnt and unburnt forest soil, Science of The Total Environment, 642: 374-382. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.051>

- **Formas de fósforo como indicador de calidad de suelos bajo diferentes tipos de vegetación**

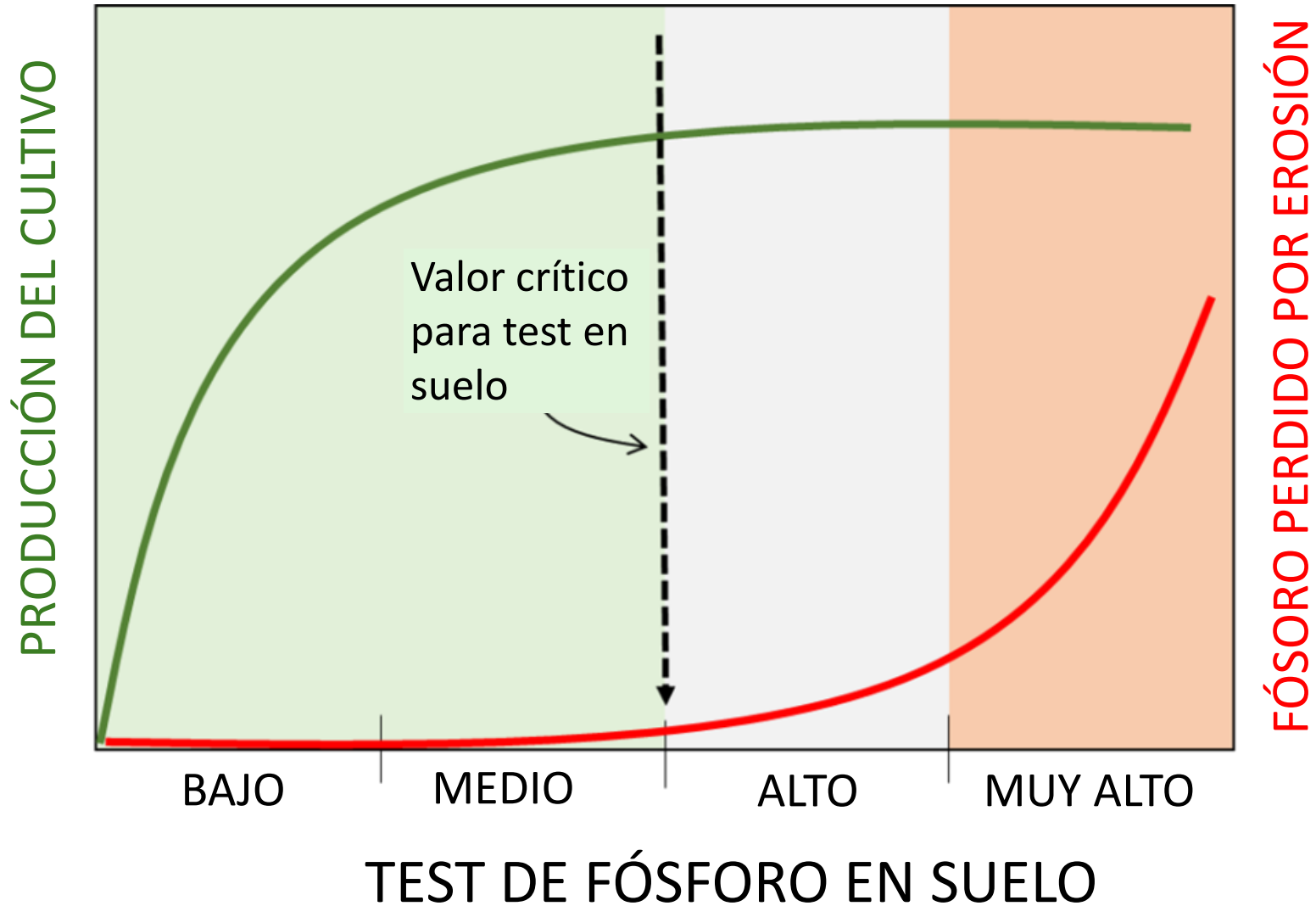
Resultados:

- La mejora en las propiedades de un suelo muy ácido, como pH y materia orgánica, debida al tipo de vegetación, se vio acompañada principalmente por mayores concentraciones de P inorgánico.

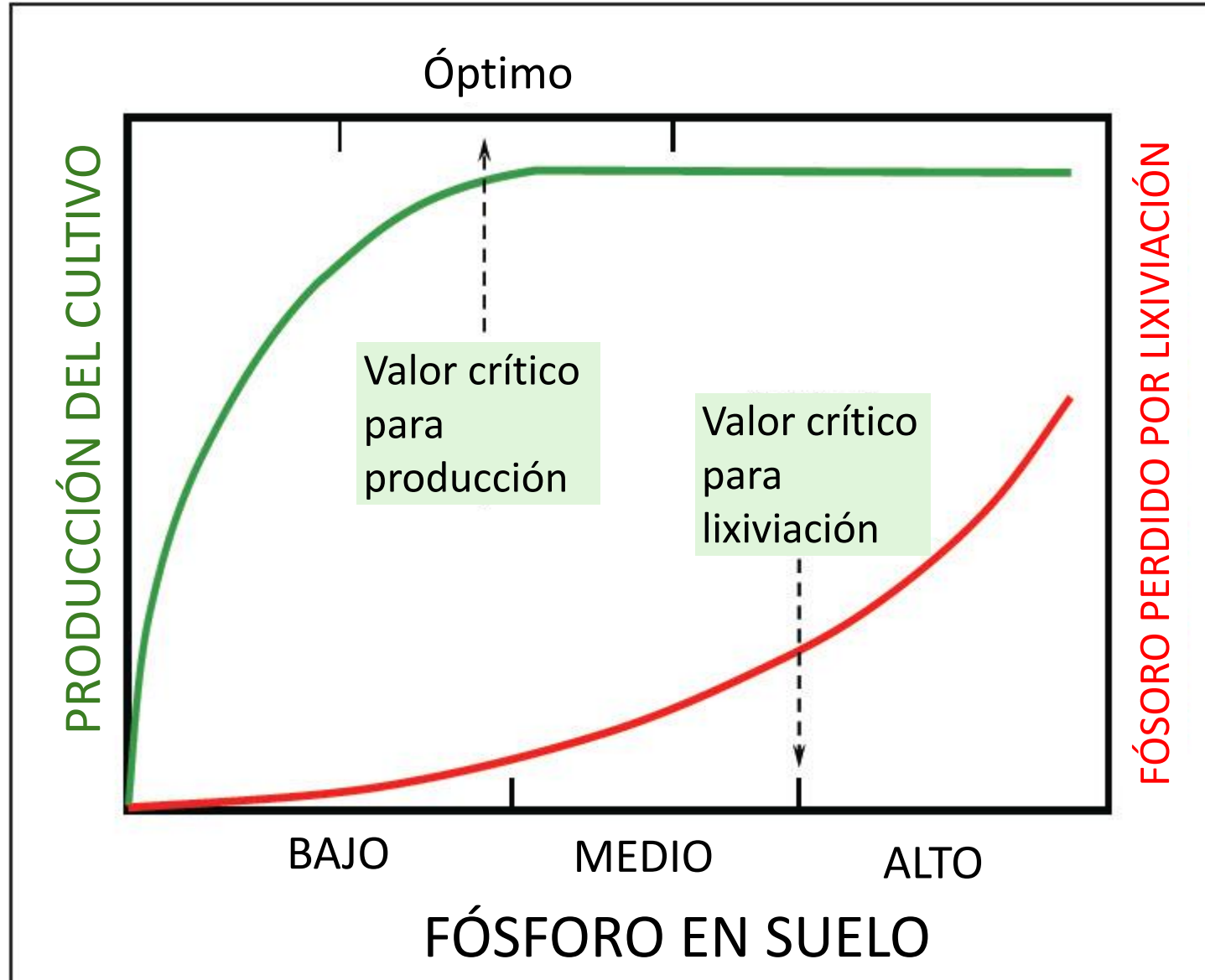
María-Belén Turrión, Olga López, Francisco Lafuente, Rafael Mulas, César Ruipérez, Alberto Puyo (2007). Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. Science of The Total Environment, 378: 195-198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.037>

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN

- Buscan determinar la **capacidad de desorción del P del suelo al agua**, relacionada con la cantidad de P adsorbida, y fundamentalmente, con la **saturación en P** de las superficies adsorbentes.
- **Métodos de extracción específicos** con agua y disoluciones diluidas de cloruro de calcio a altas relaciones disolución:suelo. Condiciones de extracción poco normalizadas.
<https://doi.org/10.2134/jeq2006.0450>
- Empleo de métodos de extracción de P asimilable como índice de disponibilidad de P con significado agro-ambiental:
 - Métodos como Olsen y Mehlich han demostrado relacionarse con la transferencia de P a las aguas de drenaje y de escorrentía.
 - Se mejora la interpretación considerando factores complementarios relacionados con las propiedades del suelo, cultivo y clima.
Ejemplos de esto se recogen en los *Phosphorus Site Index, Phosphorus Index o P Index* desarrollados en diversos estados y países, principalmente en USA y Europa.



Gatiboni, L., A. Sharpley, and P. Kleinman. 2023. Soil Phosphorus Testing. SERA17 Phosphorus Conservation Practices Fact Sheets. <https://sera17.wordpress.ncsu.edu/soil-phosphorus-testing/>

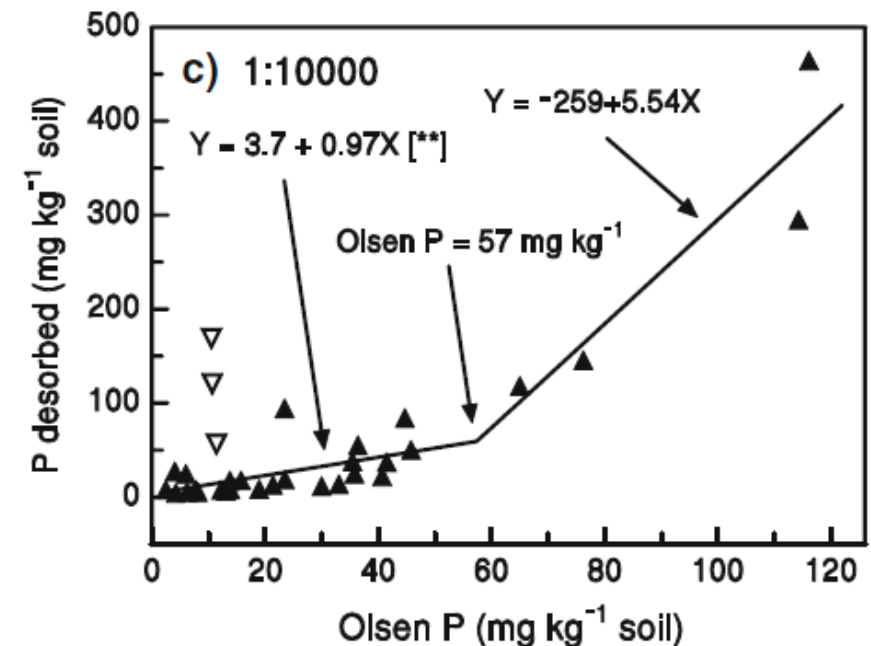


Ejemplos:

- Heckrath et al. (1995) Un valor de **P Olsen** mayor de **60 mg/kg** en la capa de laboreo de un suelo franco limoso causó un gran incremento en el agua de drenaje (de 0,15 a 2,75 mg/l). Proponen ese valor, muy superior al óptimo para los cultivos (sobre 20 mg/kg; Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1994) como punto crítico por encima del cual se incrementa el riesgo de movimiento de P en el agua de drenaje.

- En **Portugal** Nivel de **P Olsen** en suelos ácidos
 - *20 mg P/kg disminuir drenaje*
 - *50 mg P/kg disminuir escorrentía*

Horta, M. do C. y Torrent, J. (2007). The Olsen P method as an agronomic and environmental test for predicting phosphate release from acid soils. *Nutr Cycl Agroecosyst* 77:283–292
DOI 10.1007/s10705-006-9066-2



Legislación Aplicación al suelo de Lodos de depuradora

Galicia. DECRETO 125/2012.

- Prohíbe aplicarlos en suelos con un contenido de fósforo Olsen superior a **48 mg/kg** y limita su aporte, igual que para N, según niveles y cultivos.

País Vasco DECRETO 453/2013.

- Prohíbe aplicarlos en suelos de pH < 5,0 o fósforo Olsen > **80 mg/kg**.

Carlos García (2024). CEBAS-CSIC (GRUPO DE ENZIMOLOGÍA Y BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS Y RESIDUOS ORGÁNICOS) INFORME: “Definir el nivel medioambiental y agronómico sobre el límite máximo de fósforo a adicionar con la aplicación de lodos EDAR en agricultura, teniendo presente su contenido en nitrógeno”

- Propone establecer los planes de fertilización con dichos lodos, de forma que no se supere en el suelo receptor la cantidad de **50 mg de P Olsen/Kg suelo**.

https://www.aeas.es/images/Doc_Inf_Sector/AEAS_INFORME_CEBAS-CSIC.pdf

Legislación Aplicación al suelo de fertilizantes y residuos ganaderos

Cataluña. DECRETO 153/2019, de gestión de la fertilización del suelo y de las deyecciones ganaderas.

- Gestión de la fertilización para no alcanzar **80 mg P/kg suelo**.

Madrid. 2024. BORRADOR PARA EL TRÁMITE DE EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA del PROGRAMA DE ACTUACIÓN SOBRE LAS ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR NITRATOS PROCEDENTES DE FUENTES AGRARIAS DESIGNADAS EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

- ...será necesario establecer limitaciones en la aplicación de fertilizantes fosfatados en las explotaciones agrarias ubicadas entorno a las masas de agua afectadas, debiendo realizar la fertilización con fósforo durante los cuatro años siguientes en base a analíticas de suelo mediante el método analítico Olsen que tendrán carácter de autocontrol. No se debe superar la concentración de fósforo (P) de **50 mg P/kg suelo**.