

RETENCIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE MAÍZ EN LA REGIÓN DE AZUERO¹

*Jorge Iván Núñez-Cano²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³;
Román Gordón-Mendoza⁴; Jorge Enrique Franco-Barrera⁵;
Jorge Enrique Jaén-Villarreal⁶; Ana Elida Sáez-Cigarruista⁷*

RESUMEN

El objetivo de esta investigación era estimar la dosis equivalente de fertilizante que se debe aplicar en suelos dedicados al cultivo de maíz para poder alcanzar la concentración de fósforo óptima, en suelos alfisoles e inceptisoles de la región de Azuero. Se tomaron muestras de suelos de ocho localidades de la región maicera de la provincia de Los Santos. A cada muestra, se le realizó una caracterización físico-química completa y además se elaboró la Isoterma de Langmuir. Se calculó la capacidad de adsorción máxima de cada muestra de suelo para retener fosfatos (cantidad), fosfatos solubles en la solución del suelo (intensidad), y la propiedad que posee un suelo para resistir los cambios en la concentración de fósforo en solución o energía de retención (capacidad). El suelo inceptisol de la localidad Guararé, adsorbió la mayor cantidad de fósforo con 943,1 mg.kg⁻¹ seguida por el suelo alfisol de Pedasí y el inceptisol de San José, con valores de 794,7 y 788,3 mg.kg⁻¹, respectivamente. Los suelos inceptisoles de las localidades de Guararé y San José, así como los alfisoles de El Ejido y Pedasí, presentaron mayores niveles de energía de retención con valores de 1,85; 1,75; 0,59 y 0,46; respectivamente. Las dosis equivalentes de fósforo para alcanzar la concentración óptima en el suelo, para el cultivo de maíz, se presentaron en el suelo inceptisol de Llano Abajo, siendo de 202,8 kg P.ha⁻¹.

Palabras claves: isotermas de Lagmuir, fósforo disponible, intensidad, cantidad, capacidad.

¹Recepción: 7 de septiembre de 2018. Aprobación: 19 de noviembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Programa: Investigación e Innovación para la Competitividad del Agro Negocio. Presentado como proyecto de tesis de la maestría en ciencias agrícolas con énfasis en el manejo de suelos y agua.

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agrónomo Fitotecnista. e-mail: jorgenunezcano@gmail.com

³IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central. Ph.D. en Edafología. e-mail: jevilla38@gmail.com

⁴IDIAP. CIAA. M.Sc. Entomología. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁵IDIAP. CIAA. M.Sc. Ciencias Ambientales. e-mail: joenfra13@gmail.com

⁶IDIAP. CIAA. Ing. Agrónomo en cultivos tropicales. e-mail: jorgejaen02@gmail.com

⁷IDIAP. CIAA. Ing. Agrónomo en cultivos tropicales. e-mail: ansaciq@gmail.com



RETENTION OF PHOSPHORUS IN SOILS DEDICATED TO MAIZE CULTIVATION IN AZUERO REGION

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate the equivalent fertilizer dose to apply on soils dedicated to maize crop, in order to reach the optimum phosphorus concentration for this crop, in alfisol and inceptisol soils of the Azuero region. Soil samples were taken from eight localities in the corn region of Los Santos province. To each sample, a complete physical-chemical characterization was made and the Langmuir isotherm was also generated. The maximum adsorption capacity of each soil sample was calculated to retain phosphates (amount), soluble phosphates in the soil solution (intensity), and the property of a soil to resist changes in the concentration of phosphorus in solution or energy of retention (capacity). Inceptisol soil of Guararé locality, adsorbed the highest amount of phosphorus with $943,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ followed by Pedasi alfisol and San José inceptisol, with values of 794,7 and $788,3 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectively. Inceptisol soils from Guararé and San José localities, as well as alfisols from El Ejido and Pedasí, showed higher levels of retention energy with values of 1,85; 1,75; 0,59 and 0,46; respectively. For maize crop, the equivalent dose to reach optimum phosphorus concentration in soils was found in Llano Abajo inceptisol soil, being $202,8 \text{ kg.ha}^{-1}$.

Key words: Lagmuir isotherms, available phosphorus, intensity, quantity, capacity.

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P), es uno de los nutrientes principales para las plantas, siendo necesario su adecuado suministro por parte de los suelos para condiciones no limitantes del crecimiento vegetal (Hernández y Zamalvide 1998). Sin embargo, es uno de los elementos más críticos para la producción agropecuaria, debido a su relativa escasez edáfica y elevada retención por parte de la matriz del suelo. Además de la falta de reposición natural y la progresiva escasez de sus fuentes naturales (Rubio 2002). Su disponibilidad en el suelo corresponde a una pequeña fracción del total contenido en el mismo, reflejando parte del P de la solución y aquella que se encuentra en la fase sólida susceptible de ser asimilada por las plantas (Rojas 2015, Holford 1997).

El fósforo en solución es la forma aprovechable para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en la solución del suelo (Vargas 2012). La fracción lábil representa la cantidad de P que puede pasar a la solución en una temporada de cultivo. Su disponibilidad

es más lenta que la del P en solución y muy dependiente del pH. Mientras que la fracción no lábil, representa todos aquellos compuestos fosforados que no pasan a formar parte de la solución del suelo en la temporada del cultivo.

La adsorción, es el proceso mediante el cual las sustancias químicas reactivas se unen a las superficies de los sólidos. Las partículas pequeñas como los minerales de arcilla, poseen una gran superficie específica por lo que físicamente tienden a tener una alta capacidad de adsorción. Estos procesos físicos, muchas veces están acompañados de reacciones químicas, que provocan la precipitación del P de la solución del suelo en compuestos con distinto grado de solubilidad, conocidos como procesos de quimio-adsorción (Silva 2011).

A medida que el P es adsorbido, se observan relaciones no lineales entre las cantidades retenidas y presentes en solución. Esta no linealidad se representa matemáticamente por una serie de ecuaciones alternativas (isotermas) con transformaciones logarítmicas o de otro tipo para hacer aproximaciones lineales (McGechan y Lewis 2002). La isoterma de Langmuir fue el primer modelo que se propuso, supone que la adsorción máxima corresponde a una monocapa saturada de moléculas de adsorbato, no pudiendo migrar las moléculas adsorbidas a través de la superficie del adsorbente. Asimismo, supone que las moléculas se adsorben en lugares definidos en la superficie y que la energía de adsorción es constante (superficie homogénea).

La ecuación de Langmuir fue originalmente derivada a partir de consideraciones cinéticas, posteriormente, se dedujo a partir de consideraciones de tipo termodinámico y de mecánica estadística (García 2014). Se aplica a concentraciones bajas de P en equilibrio y a una temperatura constante. Permite calcular la capacidad de adsorción máxima de cada muestra de suelo para retener fosfatos. También los fosfatos en la solución del suelo (factor Intensidad). la cantidad de P que está en la fase sólida o fracción lábil, en equilibrio con la solución (factor Cantidad). Y la relación dinámica entre la cantidad y la intensidad que es conocida como el factor Capacidad (K) o capacidad buffer (IGAC 2000).

La máxima capacidad de retención de P determinada con las isotermas de Langmuir se observó en los suelos andisoles de México, que pueden adsorber más de 1000 mg P.kg⁻¹. En el rango de medio a alto se encuentran los oxisoles de Brasil, que

presentan menor constante de energía de retención, esto les permite suplir suficiente P requerido por la planta a una menor saturación de fosfato. A diferencia de los andisoles, que presentaron elevada retención de P, predominan arcillas del tipo amorfas que retienen con más fuerza el nutriente (Quintero 2002). Resultados similares fueron encontrados por Villarreal (2012) en suelos ultisoles y alfisoles de Panamá.

El Índice de Retención de P es una medida práctica y sencilla, que ha mostrado ser representativa y descriptiva del poder buffer de un suelo. La capacidad buffer de P o poder amortiguador del suelo tiene un efecto directo sobre la cantidad de fertilizante que pasará a formas no disponibles para las plantas. En suelos de media a alta capacidad buffer como los suelos rojos de Misiones o Norte de Corrientes en Argentina, un 70% del P adicionado, puede pasar rápidamente a formas no lábiles y poco disponibles. Suelos franco-limosos a franco arcillosos, tienen baja capacidad de retención, quedando de 40% a 50% del P aplicado fácilmente disponible para las plantas. Mientras que, en los suelos de texturas gruesas solo de 30% a 40% pasa a formas no lábiles (Quintero *et al.* 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, se desarrolló en la región maicera de Azuero, con especial énfasis en la provincia de Los Santos. Para la selección de las áreas de muestreo de suelo se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- a. La textura, la cual determina en gran medida la capacidad buffer de P o poder amortiguador del suelo.
- b. El nivel de precipitación de la zona, los cuales son inferiores a la media de los últimos 19 años en la zona de Guararé, Los Santos y Parita, mientras que Las Tablas, Pocrí y Pedasí, presentan niveles de precipitación superiores a la media (Gordón 2014).
- c. La dedicación al cultivo de maíz por un periodo mínimo de 10 años lo que permite verificar el impacto de la actividad en la disponibilidad de P en el suelo.

Los suelos en estudio pertenecen a los órdenes alfisol e inceptisol y a las zonas de vida bosque húmedo premontano, bosque seco tropical y bosque seco premontano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Órdenes y zonas agroecológicas de los suelos en estudio en la provincia de Los Santos.

Orden de suelo ¹	Localidad	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Zonas de vida ²
Localidades Sur de la Península				
Alfisol	Los Destiladeros	7°28'38.79"	80°02'46.37"	Bosque húmedo premontano
Alfisol	Pedasí	7°32'53.04"	80°01'43.09"	Bosque seco tropical
Alfisol	Nuevo Ocú	7°42'01.22"	80°08'15.75"	Bosque seco tropical
Inceptisol	San José	7°42'05.57"	80°15'06.15"	Bosque seco tropical
Localidades Norte de la Península				
Inceptisol	Guararé	7°49'34.13"	80°17'12.01"	Bosque seco premontano
Inceptisol	Llano Abajo	7°47'56.93"	80°24'04.57"	Bosque seco tropical
Inceptisol	La Colorada	7°49'23.51"	80°33'35.28"	Bosque seco tropical
Alfisol	El Ejido	7°54'34.20"	80°22'12.24"	Bosque seco premontano

De cada localidad se tomaron cuatro muestras, a una profundidad de 20 cm (capa arable). Se les realizó un análisis de caracterización físico-químico completo de acuerdo con la metodología descrita por Villarreal y Name (1996). De acuerdo a los índices de niveles críticos de nutrientes establecidos en el laboratorio de suelos del IDIAP (Name y Cordero 1987), todas las localidades presentaron niveles bajos de P, K de medio a bajo, Ca y Mg en niveles altos, Mn de medio a alto, Zn y Cu de medio a bajo. En cuanto a las características físico-químicas, los suelos de las localidades de Los Destiladeros, Pedasí, La Colorada y Llano Abajo presentaron mayores contenidos de arena, mientras que en el resto de los suelos hubo una mayor presencia de arcilla.

El pH presentó valores entre poco ácido a muy ácido, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), fue alta para los suelos de Llano Abajo y Guararé, media para Nuevo Ocú, El Ejido y San José y baja para La Colorada, Los Destiladeros y Pedasí. El porcentaje de saturación de aluminio y el contenido de materia orgánica fue bajo para todas las localidades.

Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo fueron secadas, molidas y se pasaron por un tamiz N°20 (2 mm de abertura en la malla). Para la realización de las isoterma de Langmuir, se utilizó la metodología descrita por el IGAC (2000). Se pesaron 3 g de suelo a los cuales se les agregó 30 ml de solución de P, en concentraciones variables. Se aplicaron seis

concentraciones diferentes de P por cada muestra, a saber 5; 10; 25; 50; 75 y 100 mg.l⁻¹, preparadas a partir de un patrón de P en cloruro de calcio 0,01 M; agitadas por 16 horas y centrifugadas durante 30 minutos. En el decantado se determinó el contenido de P, utilizando un espectrofotómetro de luz visible, siguiendo la metodología de la formación del complejo Fosfo-molibdico (Villarreal y Name 1996).

La diferencia entre la cantidad agregada y la que queda en la solución del suelo es el P fijado. Esta metodología brinda información sobre la concentración del P remanente en la solución del suelo (factor de intensidad), que está en equilibrio con el P de la fase sólida (factor de capacidad). A partir de este principio, fueron elaboradas las isothermas de adsorción para cada una de las muestras estudiadas, determinando luego la constante de adsorción máxima de P en cada caso.

La determinación de la cantidad de P que se debe aplicar para elevar el P extraíble en el suelo se realizó utilizando incubaciones con una solución de Fosfato monobásico de potasio (K(H₂PO₄)₂) a dosis crecientes. Se utilizaron cinco dosis; 0; 8; 16; 32 y 67 mg P.kg⁻¹. Los suelos se fertilizaron homogéneamente y se colocaron protegidos del sol y a humedad de capacidad de campo por un periodo de 45 días. Luego se determinó el P extraíble utilizando la metodología de la formación del complejo Fosfo-molibdico (Villarreal y Name 1996). Se calculó para cada suelo el aumento en el P extraíble para cada dosis de P agregado como la diferencia del P extraíble de cada muestra con el P extraíble promedio de las dos muestras a las que no se les agregó P. El coeficiente b se ajustó para cada situación mediante el modelo lineal simple. Este coeficiente b es el incremento en el P extraíble en el suelo ante la adición de un mg de P.kg⁻¹ en el suelo. Para determinar la dosis recomendada para elevar el P en 1 mg.kg⁻¹ (kg P fertilizante ha⁻¹) se utilizó la siguiente formula:

$$\text{kg P.ha}^{-1} = 0,01 (\text{densidad aparente} \times \text{profundidad (cm)}) / \text{Coeficiente b}.$$

La dosis final recomendada para el cultivo se determinó de la siguiente manera: (P extraíble del suelo - nivel crítico del cultivo) x (dosis recomendada para elevar el P en 1 mg.kg⁻¹) (Rubio *et al.* 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de las localidades del sur, San José y Pedasí, mostraron una mayor capacidad de adsorción de P, seguidos por Los Destiladeros y Nuevo Ocú respectivamente. El coeficiente de determinación de la ecuación de Langmuir en los suelos de las localidades de San José y Pedasí es alto comparado con los correspondientes a los de las localidades de Los Destiladeros y Nuevo Ocú (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes derivados de la isoterma de Langmuir para las localidades del sur de la península de Azuero.

Localidades del Sur	Ecuación Lineal de Langmuir	R ²	Parámetros de Langmuir	
			K	Adsorción Máxima (mg.kg ⁻¹)
Los Destiladeros	$y = 9,01 + 1,51 X$	0,60	0,03	663,4
Pedasí	$y = 2,71 + 1,26 X$	0,86	0,46	794,6
Nuevo Ocú	$y = 15,02 + 1,86 X$	0,57	0,12	538,6
San José	$y = 0,72 + 1,23 X$	0,96	1,75	788,3
		Promedio	0,59	696,3

El suelo de la localidad de Pedasí, tuvo una adsorción máxima de P de 794,6 mg.kg⁻¹, siendo la más alta de las localidades del sur. Seguido, por el suelo de la localidad de San José con 788,3 mg.kg⁻¹, quien, además, presentó el factor K más alto. Esta localidad a través de los años ha mostrado una tendencia a reducciones en los valores de pH (Gordón 2017). Lo cual puede explicar los altos valores de adsorción de P encontrados. Las isotermas de adsorción, mostraron la misma tendencia, donde a medida que aumenta la concentración de P en equilibrio, aumenta la cantidad adsorbida del mismo hasta llegar a un punto en que se mantiene constante (Figuras 1 y 2). Este comportamiento es típico de la isoterma de adsorción propuesta por Langmuir (Fox y Kamprath 1970).

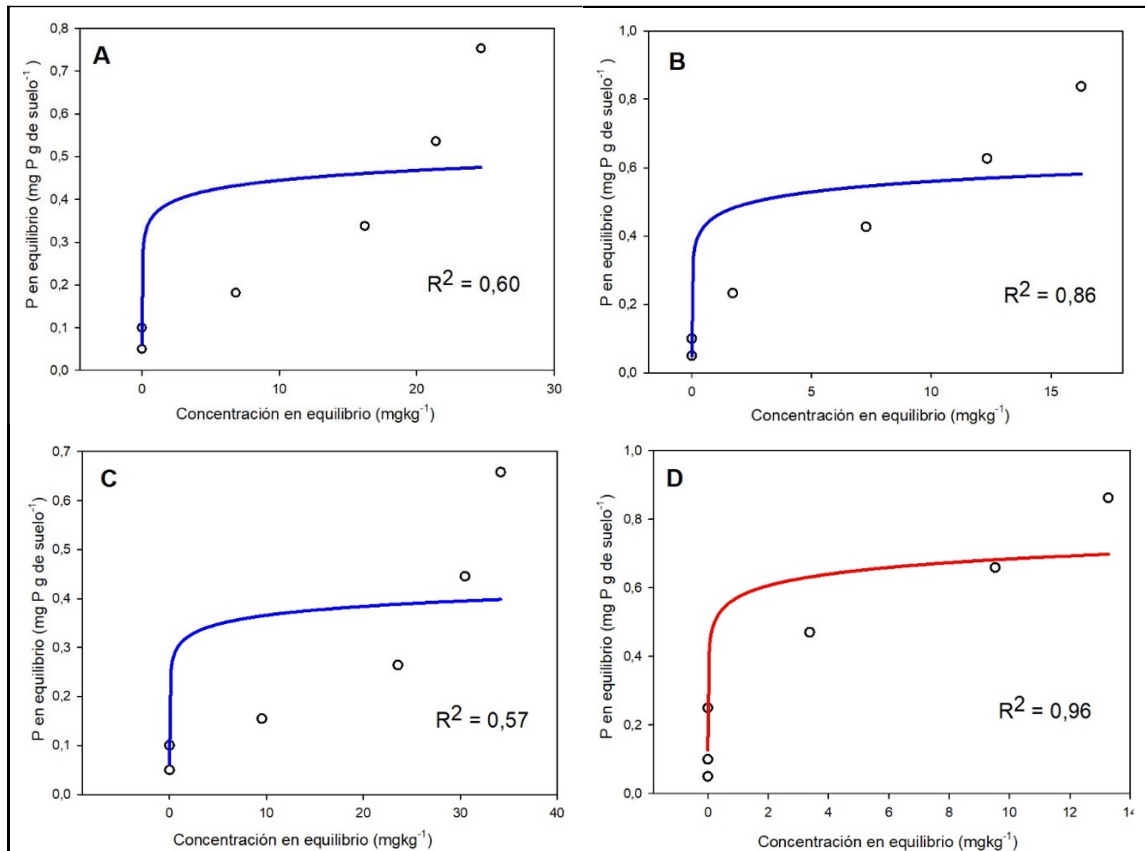


Figura 1. Isotermas de Langmuir para los suelos de las localidades del sur: Los Destiladeros (A), Pedasi (B), Nuevo Ocu (C), San José (D).

El suelo de la localidad de Nuevo Ocu, presentó la adsorción máxima de P más baja con $538,6 \text{ mg.kg}^{-1}$. Los Destiladeros, por su parte, fue la localidad del sur que presentó el suelo con el valor más bajo del factor K de $0,03$, y una adsorción máxima de P de $663,4 \text{ mg.kg}^{-1}$. El suelo de la localidad de La Colorada, presentó la capacidad más baja de adsorción de P de todas las localidades del norte. El resto de los suelos tuvieron capacidades de adsorciones de P similares (Cuadro 3).

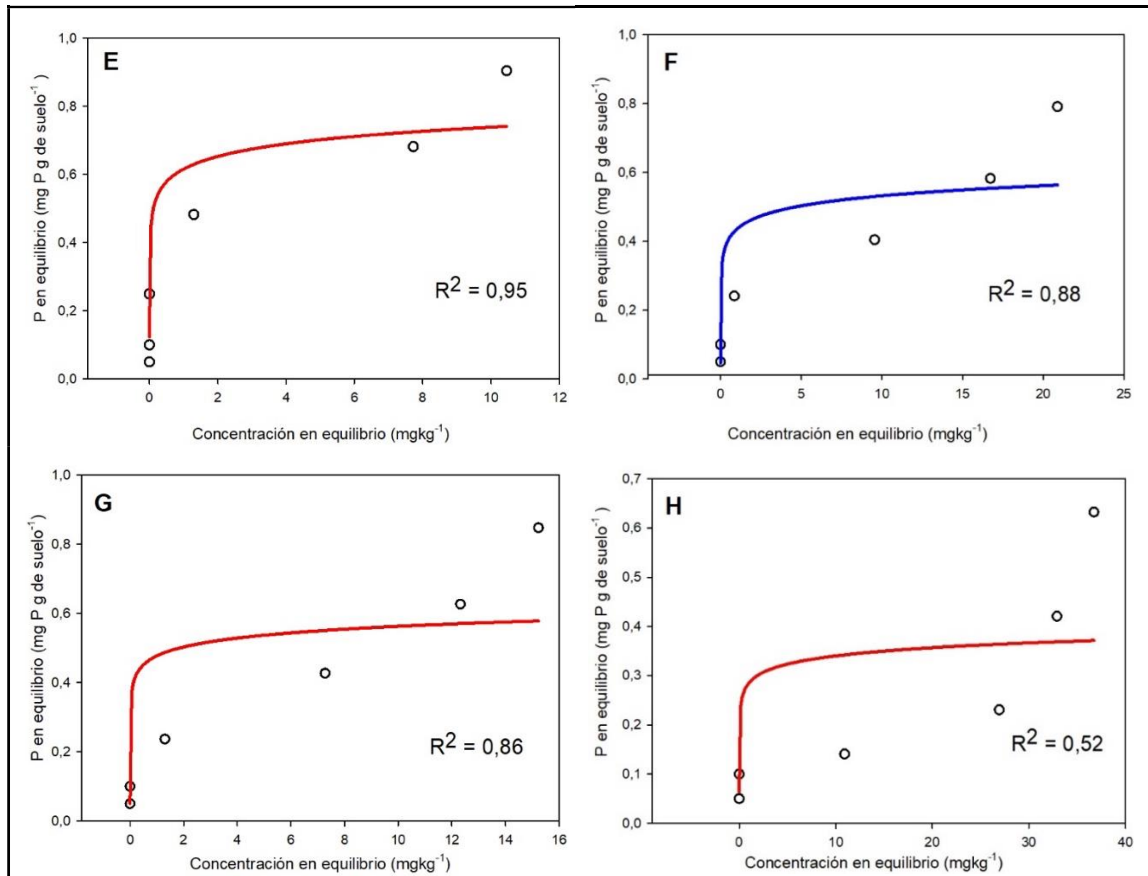


Figura 2. Isotermas de Langmuir para los suelos de las localidades del norte: Guararé (E), El Ejido (F), Llano Abajo (G) y La Colorada (H).

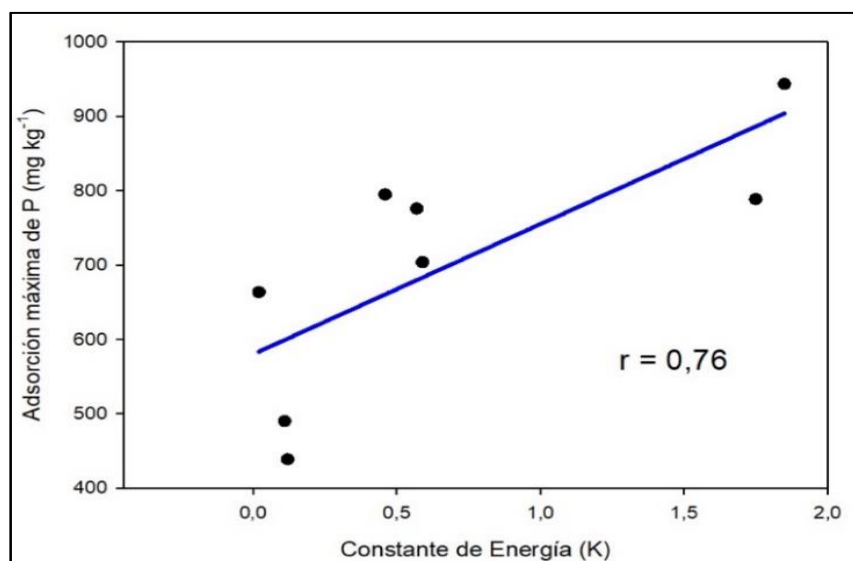
La máxima adsorción de P en las localidades del norte estuvo encabezada por el suelo de la localidad de Guararé con $943,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Luego le siguieron los suelos de las localidades de Llano Abajo, El Ejido y La Colorada con valores de $775,7$; $703,8$ y $486,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente. El factor K y el R^2 fueron más alto en el suelo de la localidad de Guararé. Por su parte el suelo de la localidad de La Colorada, presentó valores de R^2 de $0,52$ y factor K de $0,11$, siendo los más bajos de las localidades del norte.

Las Pruebas de t realizadas para comparar las medias de adsorción máxima de P entre los ordenes de suelos (alfisol vs inceptisol) y las zonas (norte vs sur) mostraron que no hay diferencias significativas ($p = 0,53$ y $0,79$, respectivamente). En ambas zonas, se observó que los suelos con mayor contenido de arcilla mostraron una tendencia a adsorber una mayor cantidad de P.

Cuadro 3. Coeficientes derivados de la isoterma de Langmuir para las localidades del norte de la península de Azuero.

Localidades del Norte	Ecuación Lineal de Langmuir	R ²	Parámetros de Langmuir	
			K	Adsorción Máxima (mg.kg ⁻¹)
Guararé	$y = 0,57 + 1,06 X$	0,95	1,85	943,1
El Ejido	$y = 2,41 + 1,42 X$	0,88	0,59	703,8
Llano Abajo	$y = 2,27 + 1,29 X$	0,86	0,57	775,7
La Colorada	$y = 2,41 + 1,42 X$	0,52	0,11	486,9
		Promedio	0,78	727,3

Resultados similares fueron encontrados por Carrasco *et al.* (1992) en suelos de regiones semiáridas de Chile. Sin embargo, el suelo de la localidad de Pedasí, presentó la adsorción de P más alta de las localidades del sur y los contenidos de arcillas más bajos. Esto indica la existencia de otros factores que influyen en las tasas de adsorción de P. La materia orgánica tiene un importante papel en la disponibilidad de P en el suelo, además de otras propiedades como, la alta acidez, presencia de arcillas alófanas y deficiencia de bases intercambiables influyen igualmente en la adsorción de P (Bravo *et al.* 2013). Partiendo de esta premisa, el suelo de la localidad de Pedasí, presentó valores bajos de materia orgánica y CICE, lo cual puede explicar su alta adsorción de P. La adsorción máxima de P se correlacionó positivamente con la constante K con un $r=0,76$. Esto indica que entre más alta es la adsorción de P, mayor es la energía con la que es retenido (Figura 3).

**Figura 3. Adsorción máxima de P (mg.kg⁻¹) y Contante de energía (K) por localidad.**

Las dosis de P por hectárea recomendadas en cada localidad para el cultivo de maíz fueron más elevadas en las localidades de Llano Abajo, San José, Guararé y Pedasí, respectivamente (Cuadro 4). Estas dosis garantizan que los requerimientos de P por el cultivo queden cubiertos, ya que toman en cuenta aspectos como la cantidad P retenido por el suelo ante la aplicación del fertilizante. Además, evita realizar aplicaciones excesivas de P en suelos en donde no es necesario. Este es el caso de la localidad de Nuevo Ocú, en donde la dosis recomendada de fósforo fue la más baja ($8,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

En el Laboratorio de Suelos del IDIAP, las recomendaciones de fertilizantes se basan en las exigencias del cultivo, eficiencia del fertilizante y las dosis aplicadas (Villarreal y Name 1996). Si se compara este método con las dosis determinadas con el índice de retención de P, se observan diferencias superiores al 90%. La dosis para elevar 1 mg de P por litro de solución se correlaciona positivamente con la adsorción máxima de P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Esto indica que el método utilizado para calcular la dosis de P, guarda relación con la adsorción máxima de P determinada por medio de la Isoterma de Langmuir (Figura 4).

Cuadro 4. Dosis de P recomendadas por el método del Índice de Retención de P (IRP) vs recomendaciones del laboratorio de suelos del IDIAP.

Lugar de muestreo	Dosis para elevar el P $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Dosis $\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ para maíz	Dosis $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ para maíz	$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ Laboratorio de Suelo, IDIAP	Diferencia Dosis IRP vs Dosis Laboratorio $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$
Los Destiladeros	9,4	109,6	251,0	58,9	493,4
Pedasí	17,7	149,8	343,1	58,9	695,9
Nuevo Ocú	4,9	8,4	19,2	58,9	-16,6
San José	13,7	170,2	390,0	58,9	799,1
Guararé	13,2	168,0	384,9	58,9	787,8
El Ejido	12,8	140,1	320,9	58,9	647,0
Llano Abajo	18,6	202,8	464,6	58,9	963,3
La Colorada	9,2	102,6	235,2	58,9	458,5

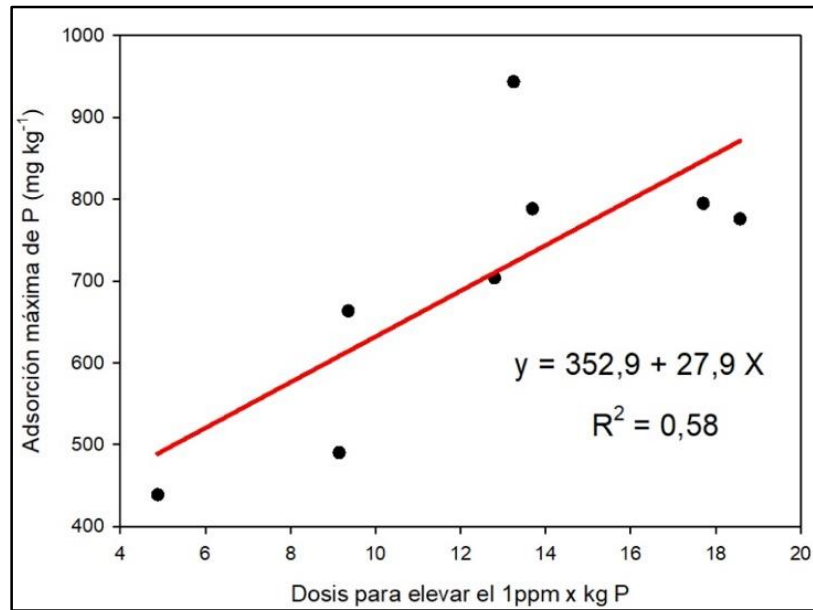


Figura 4. Adsorción Max, P (mg.kg⁻¹) vs Dosis para elevar el P 1 mg.l⁻¹.

CONCLUSIONES

- Los suelos inceptisoles de las localidades del norte tiene una capacidad de adsorción de P y energía de retención promedio mayores que los suelos alfisoles e inceptisoles de las localidades del sur.
- Las dosis de P, calculadas tomando en cuenta el índice de retención de P en suelo son altas si las comparamos con métodos de recomendación utilizados por el Laboratorio de Suelo del IDIAP.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, I; Montoya, J; Menjivar, J. 2013. Retención y disponibilidad de P asociado a la materia orgánica en un Typic Melanudands del departamento del Cauca, Colombia. Acta Agron., 62(3):261-267.
- Carrasco, M; Opazo, J; Peralta, I; Vera, L. 1992. Retención de P en suelos de zonas semiáridas. Agricultura Técnica. Chile. p. 411-415.

- Fox, RL; Kamprath, EJ. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:902-907.
- García, N. 2014. Nueva generación de carbones activados de altas prestaciones para aplicaciones medioambientales. Tesis doctoral. Universidad De Oviedo. España. 217 p.
- Gordón, R. 2014. Los granos básicos y la variabilidad climática en Azuero: Caso maíz. Conferencia. Primer congreso científico CRULS Universidad de Panamá. 22 octubre de 2014, Las Tablas, Panamá, 13 p.
- Gordón, R. 2017. Base de datos de análisis de suelos. Programa de Maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Información sin publicar.
- Hernández, J; Zamalvide, J. 1998. Proceso de retención de P por los suelos evaluados a través de parámetros de suelo y planta. *Uruguay. Agrociencia* 1(2):48-63.
- Holdridge, Lr. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. *Ecología basada en zonas de vidas.* San José, CR. 206 p.
- Holford, I. 1997. Soil Phosphorus: Its Measurement, and its Uptake by Plant. *Aust. J. Soil Res.*, 35:227-39.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CO). 2000. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Cuarta edición. Bogotá. CO. 663 p.
- McGechan, Mb; Lewis Dr. 2002. Principles, Equations and Models. *Biosystems Engineering, by Soil, Part 1(82):1-24.*
- Name, B; Cordero, A. 1987. Recomendaciones para la fertilización de suelos: Hojas guías por cultivo. In S. Jaramillo editor, *Compendio de los resultados de Investigación presentados en la Jornada Científica.* IDIAP. Santiago, PA. 22 p.

- Quintero, CE. 2002. Dosificación del P según tipos de suelos. Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER. Informaciones Agronómicas del cono sur no.16:8-9.
- Quintero, CE; Boschetti, NG; Benavidez, RA. 1999. Phosphorus Retention in Some Soils of the Argentinian Mesopotamia. *Comm. Soil Sci. Plant Ana.* 30(9 y 10):1449-1461.
- Rojas, C. 2015. Interpretación de la disponibilidad de P en los suelos de Chile (en línea). Consultado 13 dic. 2017. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>
- Rubio, G. 2002. Conectando el P del suelo con la planta. Simposio: "Enfoque sistémico de la Fertilización Fosfórica". *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* 19 p.
- Rubio, G; Cabello, MJ; Gutiérrez, FH. 2007. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas sur y norte de la región Pampeana, Argentina. *Informaciones Agronómicas* 35:9 p.
- Silva, M. 2011. Adsorción y desorción de P en suelos del área central de la región Pampeana. Tesis Para optar al Grado Académico de Doctor en Ciencias Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 179 p.
- Vargas, W. 2012. Planificación y control de la contaminación ambiental. Ciclo del fósforo. Universidad mayor de San Andrés. Bolivia. 12 p.
- Villarreal, J; Ramos, I; Villalaz, J; Santos, A. 2017. Clasificación taxonómica y caracterización físico-química de suelos de la región de Azuero-Panamá. *In XI Congreso de suelos de Costa Rica.* 25 al 27 de octubre de 2017. San José, CR. Disponible en www.sueloscr.com/congreso.
- Villarreal, J. 2012. Determinación de la adsorción máxima de P en suelos de Panamá mediante Isotermas de Langmuir. Resúmenes, PCCMCA, 2012. Ciudad de Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del Laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. IDIAP-Divisa. 120 p.