

**Determinación de la fijación de fósforo y  
potasio en un suelo joven y un suelo  
evolucionado del Valle de Cantarranas,  
Francisco Morazán, Honduras**

**Andrea Celeste Reiche González**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Determinación de la fijación de fósforo y  
potasio en un suelo joven y un suelo  
evolucionado del Valle de Cantarranas,  
Francisco Morazán, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera Agrónoma en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Andrea Celeste Reiche González**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

# **Determinación de la fijación de fósforo y potasio en un suelo joven y un suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras**

Presentado por:

Andrea Celeste Reiche González

Aprobado:

---

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.  
Asesora principal

---

Abel Gernat, Ph.D.  
Director  
Carrera de Ingeniería Agronómica

---

Carlos Gauggel, Ph.D.  
Asesor

---

Raul Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

---

Carlos Morales, Ing.  
Asesor

---

Dania Oliva, Ing.  
Asesora

## RESUMEN

Reiche González, A. C. 2011. Determinación de la fijación de fósforo y potasio en un suelo joven y un suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 22 p.

La fijación de fósforo y potasio en el suelo está relacionada a la composición química y a minerales específicos del mismo. El objetivo del presente estudio fue determinar la fijación de fósforo y potasio en dos suelos, joven de planicie aluvial y evolucionado de terraza antigua, ambos bajo el cultivo de caña de azúcar y relacionarla con las características químicas y mineralógicas de cada uno de ellos. Se utilizó el método de sorción en seco propuesto por Díaz y Hunter, se aplicaron 50, 100, 200, 300 y 400 mg/kg de fósforo con base en los fertilizantes  $H_3PO_4$  (ácido fosfórico) y MAP (fosfato monoamónico) y 100, 150, 200, 400 y 800 mg/kg de potasio como KCl (cloruro de potasio) a las muestras representativas de ambos suelos. Después de tres semanas de incubación, se realizó la extracción de fósforo por el método Mehlich 3 determinado por colorimetría y la extracción de potasio por el mismo método y determinado por espectrofotometría de absorción atómica. Se consideró fijada la fracción de fósforo o potasio añadida y no extraída. Ambos suelos son fijadores de fósforo bajo las cinco dosis evaluadas, pero de manera diferencial por su alta y baja fertilidad integral y mineralogía. La capacidad de fijación de fósforo aumentó en la medida que la dosis lo hizo. En el suelo de planicie aluvial reciente, la fijación de fósforo aumentó de 6 a 16% con la concentración aplicada, la baja retención se debió a que el pH es neutro y en estos suelos el fósforo fue altamente disponible. En el suelo evolucionado, la fijación de fósforo varió entre 40 y 22% de la dosis aplicada y disminuyó al aumentar la concentración de fertilizante, esto se debió a la presencia de arcilla caolinita que está relacionada con óxidos de hierro, los cuales adsorbieron fosfatos con más intensidad que los minerales silicatados. Las dos fuentes de fósforo ( $H_3PO_4$  y MAP) son similares en cuanto al nivel de fijación en los dos suelos a concentraciones menores de 100 mg/kg. En el suelo aluvial reciente, rico en vermiculita, el potasio se fijó en mayor proporción (20%) con dosis más bajas y a partir de la dosis 150 mg/kg disminuyó la fijación a 5%. En el suelo evolucionado, rico en caolinita, el potasio se fijó en igual proporción 20% hasta 400 mg/kg a partir de la cual bajó al 10%.

**Palabras clave:** Caña de azúcar, caolinita, curva de fijación, fertilizantes, mehlich 3, mineralogía, vermiculita.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>5 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>18</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>19</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>21</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Concentración elemental en los fertilizantes $H_3PO_4$ , MAP y KCl determinada en el laboratorio de suelos de la E.A.P, Zamorano, Honduras.....	4
2. Preparación de soluciones a partir de la solución de 2500 mg/kg de fósforo con base en el fertilizante fosfato monoamónico (MAP).....	5
3. Preparación de soluciones a partir de la solución de 2500 mg/kg de fósforo con base en el fertilizante ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ).....	5
4. Preparación de soluciones a partir de la solución de 2500 mg/kg de potasio con base en el fertilizante cloruro de potasio (KCl).....	5
5. Componentes del diseño de bloques completamente al azar (BCA) del ensayo de fijación de fósforo y potasio.....	6
6. Características químicas del suelo de planicie aluvial y del suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	7
7. Disponibilidad de nutrientes en el suelo de planicie aluvial y en el suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	7
8. Análisis mineralógico de la fracción gruesa (arenas y limos) y las arcillas del suelo de planicie aluvial y del suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	9
9. Ecuaciones para la determinación de la fijación de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) a partir de la dosis de fertilizante.....	13
Figuras	Página
1. Fijación de fósforo en suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) utilizando $H_3PO_4$ y MAP, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	10
2. Fijación de fósforo en suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando $H_3PO_4$ y MAP, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	10
3. Fijación de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando $H_3PO_4$ , en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	11
4. Fijación de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando MAP, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	12

5. Fijación porcentual de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando $H_3PO_4$ , en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	13
6. Fijación de potasio en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando KCl, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	15
7. Fijación porcentual de potasio en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando KCl, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.....	16

Anexos	Página
1. Difractograma por rayos X del suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) proporcionado por la unidad de mineralogía del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.....	21
2. Difractograma por rayos X del suelo de origen evolucionado (Monteleón) proporcionado por la unidad de mineralogía del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.....	22

## 1. INTRODUCCIÓN

La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, al mismo tiempo, un suelo fértil no es necesariamente un suelo productivo. Para entender completamente la fertilidad del suelo se deben conocer los factores que mantienen o limitan la productividad del mismo (INPOFOS 1997), siendo la mineralogía del suelo fundamental para el entendimiento de las interacciones dinámicas entre la fertilización y las demandas de los cultivos. Las recomendaciones de fertilizantes deberían ser modificadas y adaptadas a la luz de estos estudios para aumentar la precisión y eficiencia de la fertilización (Conti s.f). Sin embargo, se tiene poca información referente a la fijación en suelos que presentan mineralogías diferentes, al no haber herramientas apropiadas para el cálculo de la dosis a aplicar en cada caso, normalmente lo que se hace es aplicar dosis más altas de fuente del elemento en los suelos con menor disponibilidad del mismo, pero no se considera el poder de fijación o si dicha retención es igual en todos los suelos (Besoain 1985).

El potasio (K) y el fósforo (P) son elementos esenciales para las plantas, su crecimiento está severamente restringido cuando están en cantidades insuficientes en el suelo. La disponibilidad de ambos se ve afectada por los procesos del suelo, incluyendo características físicas, químicas y biológicas (Zhang *et al.* 2009). El análisis de suelos es imprescindible para valorar la fertilidad y se justifica en los casos en que exista una correlación entre los resultados analíticos y la respuesta positiva de los cultivos a la fertilización. Con respecto al potasio y el fósforo, en muchos casos no es posible hallar correlación alguna entre los resultados obtenidos de los análisis y el aumento de la producción debido al poder de fijación del suelo (INPOFOS 1997).

Se ha demostrado que la cantidad de fósforo que consume la caña de azúcar depende de las formas asimilables que existen en el suelo y de su contenido (Pérez *et al.* 2003). Los suelos en que los fosfatos son la principal fracción adsorbida, la disponibilidad de fosfato aumenta elevando el pH en el suelo. Los óxidos de hierro adsorben fosfatos con más fuerza que los minerales silicatados como las arcillas. La adsorción de fosfatos a las partículas de suelo no suele ser un proceso de adsorción ideal, sino más bien una combinación de sorción y desorción, algo de fosfato lábil está inmovilizándose continuamente y transfiriéndose a la forma lábil. Este proceso de oxidación de fosfato es especialmente rápido en suelos ácidos con capacidad de adsorción. Además, la formación de precipitados de baja solubilidad ( $Al^+$   $Fe^+$   $Ca^+$ ) puede disminuir la disponibilidad de fosfatos. La precipitación de fosfatos de calcio se ve favorecida por altas concentraciones de calcio en la solución de suelo y altos pHs (Mengel y Kirkby 2000).

En cuanto al fenómeno de fijación de potasio, varía de acuerdo a las condiciones tales como tipo de arcilla dominante, el equilibrio de las formas de potasio y las condiciones de



humedad. El transporte de iones es un factor importante en la disponibilidad de potasio, esto ocurre en la solución del suelo por el flujo de masas y difusión. El suministro continuo de potasio para la planta solo queda asegurado si la tasa de liberación de potasio a la solución y su transporte hacia las raíces sigue el ritmo de absorción del vegetal (IIP 1977).

Los minerales arcillosos son la fuente principal de potasio en el suelo, ellos cargan potasio y lo liberaran cuando baja su concentración en la solución del suelo, bien sea por absorción de las planta o por aumento de la humedad edáfica. Con determinado contenido de potasio intercambiable, un suelo con muchas partículas portadoras de potasio (suelo arcilloso) y rico en illita presenta, usualmente, menor concentración de potasio en solución que un suelo arenoso con poca arcilla. Con igual contenido de arcilla, la concentración del potasio en solución depende, asimismo de la naturaleza de los minerales arcillosos (Huang & Jin 1996). La fijación de potasio es nula en caolinitas y micas porque no tienen posiciones de cambio interlaminares para enlazar potasio, débil en montomorillonitas, y fuerte en illitas y vermiculitas. Dependiendo del grado de saturación o de agotamiento de potasio, estos minerales liberan el potasio a la solución del suelo o la adsorben de esta. Una adecuada concentración de potasio en la solución sólo es lograda cuando las posiciones que seleccionan potasio hayan sido saturadas, de modo que ya no haya fijación y un número suficiente de posiciones planares de cambio estén ocupadas por potasio (IIP 1977).

Debido a la importancia de los elementos fósforo y potasio para la producción de caña de azúcar, se decidió evaluar la fijación de los mismos a través de la metodología para la determinación de fijación propuesta por Diaz y Hunter (1978), que consiste en aplicar a muestras de suelo, cantidades conocidas de fósforo y potasio en solución y permitir su secado para luego determinar las cantidades disponibles en el suelo.

El objetivo del ensayo fue determinar la fijación de fósforo y potasio con dos fuentes de fósforo: ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) y fosfato monoamónico (MAP) y cloruro de potasio (KCl), en un suelo joven y un suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** Para estudiar la fijación de fósforo y potasio en el suelo se recolectaron dos muestras de suelo, que por su ubicación geomorfológica se denominan como planicie aluvial de la finca Azacualpa y terraza antigua de la finca Monteleón, de la CATV (Compañía Azucarera Tres Valles), en el municipio de San Juan Flores, Cantarranas, Honduras, ambos suelos bajo el cultivo de caña de azúcar.

**Recolección de muestras.** Debido a que el suelo varía por presencia de impurezas que pueden influir en los análisis de laboratorio, se tomó una muestra de 440 kg de suelo del horizonte superficial hasta una profundidad de 40 cm en un solo punto de cada suelo representativo.

**Análisis de laboratorio.** Cada muestra fue homogenizada, secada al aire y luego tamizada (tamiz 2 mm), de las cuales se tomaron 2 kg de suelo procesado para realizar el análisis químico. Éste se llevó a cabo por los métodos tradicionalmente utilizados en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, el cual incluyó la determinación de textura a través el método Bouyoucos; pH determinado por medio del potenciómetro con electrodo de vidrio en relación suelo: agua 1:1; determinación del porcentaje de materia orgánica mediante el método Walkey & Black; determinación de K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn utilizando la solución extractora Mehlich 3 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica; P utilizando la solución extractora Mehlich 3 y determinado por colorimetría; B y S mediante la solución extractora fosfato de calcio, determinados por colorimetría; análisis de pureza para los fertilizantes  $H_3PO_4$  (ácido fosfórico),  $(NH_4)H_2PO_4$  (fosfato monoamónico/MAP) y KCl soluble (cloruro de potasio) por disolución de ácido clorhídrico y N total calculado como el 5% de la materia orgánica (Arévalo y Gauggel 2010). Adicionalmente se realizó un análisis mineralógico para determinar el tipo de arcillas por el método de difracción de rayos X y análisis de arena (polvo) por mineralogía óptica, proporcionados por la unidad de mineralogía del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia. La mineralogía permitió establecer diferencia de origen y estado evolutivo de cada suelo.

**Análisis de fijación de fósforo y potasio.** Para determinar la fijación en cada suelo, se utilizó el método de sorción en seco propuesto por Díaz y Hunter (1978), el cual consiste en añadir al suelo diferentes niveles de cada elemento en solución y dejar que la muestra se seque, donde se considera fijada la fracción añadida y no extraída.

$$\text{CFP (mg/kg)} = \text{P añadido} - (\text{P extraído} - \text{P del suelo}) \quad [1]$$

$$\text{Fijación de P (\%)} = \text{CFP} \times 100 / \text{P añadido} \quad [2]$$

$$\text{CFK (mg/kg)} = \text{K añadido} - (\text{K extraído} - \text{K del suelo}) \quad [3]$$

$$\text{Fijación de K (\%)} = \text{CFK} \times 100 / \text{K añadido} \quad [4]$$

Donde:

CFP = capacidad de fijación de fósforo.

CFK = capacidad de fijación de potasio.

**Fuentes fertilizantes.** Para evaluar la fijación de fósforo se utilizaron dos fuentes fosfatadas, las cuales fueron ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y fosfato monoamónico (MAP). Para evaluar la fijación de potasio se utilizó cloruro de potasio (KCl). Para preparar las soluciones con concentración conocida, se determinó la concentración de cada elemento en los fertilizantes por el método de disolución de ácido clorhídrico utilizado en el Laboratorio de Suelos de la EAP Zamorano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración elemental en los fertilizantes  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , MAP y KCl determinada en el laboratorio de suelos de la E.A.P, Zamorano, Honduras.

Fertilizante	Fórmula química	%		
		$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	Pureza
Ácido fosfórico	$\text{H}_3\text{PO}_4$	61.4		84.95
Fosfato monoamónico (MAP)	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	60.6		
Cloruro de potasio	KCl		55.8	

**Preparación de soluciones de los fertilizantes MAP,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y KCl.** Se preparó una solución madre para cada fertilizante, y a partir de ella se obtuvieron cinco dosis de concentraciones diferentes de los elementos fósforo y potasio. Para obtener la solución madre de fósforo a 2500 mg/kg a partir del fosfato monoamónico (MAP), se pesaron 9.45 g utilizando la balanza analítica y se introdujeron a un matraz de 1000 ml. Para obtener la solución madre de fósforo a 2500 mg/kg a partir del  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (ácido fosfórico), se pesaron 18.64 g dentro de un beaker de 50 ml utilizando una balanza analítica y pipetas debido a su presentación líquida y se introdujeron a un matraz de 2000 ml. Para obtener la solución madre de potasio a 2500 mg/kg a partir de KCl (cloruro de potasio), se pesaron 5.39 g del fertilizante KCl utilizando la balanza analítica y se introdujeron a un matraz de 1000 ml. Las tres soluciones madre se llevaron al volumen total agregando agua destilada, se sellaron y agitaron fuertemente.

Luego de haber obtenido la solución madre de cada fertilizante, se procedió a preparar las soluciones en diferentes concentraciones de 50, 100, 200, 300 y 400 mg/kg para los fertilizantes fosfatados y de 100, 150, 200, 400 y 800 mg/kg para la fuente de potasio

(Cuadros 2, 3 y 4). Las soluciones de cada concentración se colocaron en matraces de 100 ml, se llevaron al volumen final agregando agua destilada, se sellaron y agitaron fuertemente. Luego se aplicaron 5 ml de cada concentración a 5 g de suelo previamente identificados según lote, fertilizante, dosificación y repetición.

Cuadro 2. Preparación de soluciones a partir de la solución de 2500 mg/kg de fósforo con base en el fertilizante fosfato monoamónico (MAP).

Concentración de fósforo (mg/kg)	No. de solución	ml de solución diluidos en 100 ml
0	1	0
50	2	2
100	3	4
200	4	8
300	5	12
400	6	16

Cuadro 3. Preparación de soluciones a partir de la solución de 2500 mg/kg de fósforo con base en el fertilizante ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ).

Concentración de fósforo (mg/kg)	No. de solución	ml de solución diluidos en 100 ml
0	1	0
50	2	2
100	3	4
200	4	8
300	5	12
400	6	16

Cuadro 4. Preparación de soluciones a partir de la solución de 2500 mg/kg de potasio con base en el fertilizante cloruro de potasio (KCl).

Concentración de potasio (mg/kg)	No. de solución	ml de solución diluidos en 100 ml
0	1	1
100	2	4
150	3	6
200	4	8
400	5	16
800	6	32

**Extracción de fósforo y potasio.** Después de tres semanas del período de incubación, secado al aire y tapado con papel aluminio para evitar contaminación, se trasladaron los 5 g de suelo seco a vasos plásticos utilizados para el procedimiento de extracción; se extrajo y se determinó el fósforo y potasio como se hacen las determinaciones de análisis rutinario. El fósforo se extrajo con la solución Mehlich 3, determinado por colorimetría y el potasio se extrajo con la misma solución y fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica (Arévalo y Gauggel 2010).

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, cada suelo representó un bloque, se evaluaron dos fuentes fosfatadas y una fuente potásica en cinco concentraciones expresadas en mg/kg, y se realizaron tres repeticiones por tratamiento (Cuadro 5).

Cuadro 5. Componentes del diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) del ensayo de fijación de fósforo y potasio.

Elemento	Fuente	Suelo Azacualpa			Suelo Monteleón		
		No. Dosis <sup>†</sup>	Repeticiones	Total	No. Dosis	Repeticiones	Total
Fósforo	MAP	5	3	15	5	3	15
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	5	3	15	5	3	15
	Testigo	1	3	3	1	3	3
Potasio	KCl	5	3	15	5	3	15
	Testigo	1	3	3	1	3	3

<sup>†</sup>Número de dosis evaluadas por fertilizante.

**Curvas de fijación de fósforo y potasio.** Luego de obtenidos los resultados de extracción de fósforo y potasio se utilizó la fórmula propuesta por Díaz y Hunter (1978) para determinar la fijación de fósforo y potasio en cada repetición, por ser un ensayo de laboratorio, la variación entre las repeticiones fue mínima, por eso, solamente se graficaron los promedios correspondientes a los resultados de fijación de cada concentración evaluada. Las curvas de fijación de fósforo y potasio se elaboraron con el programa Excel de Microsoft office 2007, colocando en el eje de las ordenadas las cantidades de elemento aplicado al suelo en mg/kg y en el de las abscisas la capacidad de fijación del suelo en mg/kg.

**Análisis estadístico.** Con los resultados obtenidos de la fijación de fósforo en el suelo Azacualpa y el suelo Monteleón, se realizaron regresiones entre la variable dosis (mg/kg) y fijación (mg/kg), utilizando el programa estadístico MINITAB<sup>®</sup> valor de r 0.600 y P 0.05%, para obtener ecuaciones de regresión que describen el comportamiento a diferentes concentraciones de fósforo, aplicando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y MAP, y bajo las mismas condiciones de ambos suelos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO

El análisis de laboratorio indica que el suelo de planicie aluvial de Azacualpa es de pH neutral, con bajo contenido de materia orgánica, nivel alto de P, K, Ca, Fe, Mn y Zn, normal de Na y Cu, y bajo de Mg. El suelo de terraza antigua de Monteleón presenta menor fertilidad, con pH moderadamente ácido, bajo contenido de materia orgánica, nivel alto de Mg y Fe, medio de K y Ca, y normal o adecuado de P, Na, Cu, Mn y Zn (Cuadro 6 y 7). El fósforo es más disponible entre pH 6.0 y 7.0, la reacción de pH indica que la disponibilidad de fósforo puede ser limitada para el desarrollo normal del cultivo (INPOFOS 1997).

Cuadro 6. Características químicas del suelo de planicie aluvial y del suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras<sup>¶</sup>

Suelo	Textura	%			pH (H <sub>2</sub> O)	%	
		Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N total
Azacualpa planicie aluvial	F <sup>¶</sup>	42	38	20	7.21	2.3	0.1
Monteleón terraza antigua	FArA	54	22	24	5.92	2.9	0.2

<sup>¶</sup>Análisis del laboratorio de suelos de la EAP, Zamorano, Honduras.

<sup>¶</sup>F: Franco. FArA: Franco Arcillo Arenoso.

Cuadro 7. Disponibilidad de nutrientes en el suelo de planicie aluvial y en el suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras<sup>¶</sup>

Suelo	cmol/kg				mg/kg				
	K	Ca	Mg	Na	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Azacualpa planicie aluvial	1.27	16.2	1.91	0.51	175	2.7	136	250	6
Monteleón terraza antigua	0.32	5.2	2.08	0.62	22	2.4	288	56	2

<sup>¶</sup>Análisis del laboratorio de suelos de la EAP, Zamorano, Honduras.

#### CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DEL SUELO

El tipo de arcilla está ligado a la respuesta de fijación de fósforo y potasio; el análisis mineralógico de la fracción gruesa (arenas y limos) y de las arcillas revela la tendencia de los suelos con respecto a las características que le aporta en el poder de fijación (Mengel y Kirkby 2000), ya que la fertilidad de los suelos no solamente depende de su composición

química sino también de las características físicas que heredan del material parental (Arévalo y Gauggel 2010). La mineralogía permitió establecer la diferencia de origen y estado evolutivo de cada suelo, siendo así que el suelo de planicie aluvial de la finca Azacualpa es considerado como suelo aluvial reciente y el suelo de terraza antigua de la finca Monteleón como suelo evolucionado.

La mayoría de las reacciones físicas y químicas se producen en las superficies de las arcillas y, entre octaedros y tetraedros, pero no todas son igualmente reactivas (Whalen & Sampredro 2010). El porcentaje de arcilla para el suelo aluvial reciente y el suelo evolucionado es relativamente similar pero ambos difieren en cuanto a fertilidad debido al tipo de arcilla presente y al pH.

La fracción arcillosa del suelo aluvial reciente de Azacualpa (Anexo 1), destacó dudosa presencia de cristobalita y esmectita, trazas de cuarzo, presencia de micas, caolinita en porcentajes comunes y abundancia de vermiculita (Cuadro 8). La caracterización mineralógica de este suelo nos indica que es un suelo joven, que imparte características físicas y químicas que lo hacen muy fértil y que puede continuar en proceso de alteración por intemperismo.

La fracción arcillosa del suelo evolucionado de Monteleón (Anexo 2), destacó trazas de cuarzo y feldespato, presencia de micas y dominancia de caolinita (Cuadro 8), suelos ricos en este tipo de arcilla por lo general tienen baja fertilidad natural, fijan fósforo, retienen humedad en niveles muy bajos, suelen ser suelos sedimentados y meteorizados (evolucionados), redundan en bajos rendimientos del cultivo y por lo general pH bajo (Arévalo y Gauggel 2010). El contenido de caolinita muestra la relación entre la posición geomorfológica que ocupa (terracea antigua) y el alto estado evolutivo del mismo.

En suelos con abundancia de arcillas de tipo 2:1 vermiculita, el pH influye en la solubilidad de los diferentes compuestos de fósforo (INPOFOS 1997). La capacidad de fijación de fósforo en suelos con dominancia de caolinita, está relacionada con la alta reactividad y afinidad de la superficie de las arcillas con el fósforo la cuales fijan cantidades apreciables del elemento en un rango de pH 5 a 7 (IIP 1977). Además, la cantidad significativa de óxidos de hierro asociado a las arcillas, los cuales no son detectados por los rayos X dada su naturaleza amorfa, adsorben fosfatos con más fuerza que los minerales silicatados (Mengel y Kirkby 2000).

Con igual contenido de arcilla, la concentración del K intercambiable o disponible, determinado en los análisis de rutina, no da información satisfactoria sobre el nivel del potasio edáfico efectivamente disponible en solución ya que también depende de la naturaleza de los minerales arcillosos (IIP 1977).

La presencia de micas, altas fijadoras de K, que se encuentra en la fracción arcillosa, indica que la fijación también se debe a ellas. En el suelo aluvial reciente (Azacualpa), la arcilla vermiculita libera el potasio a la solución del suelo o la adsorbe de esta dependiendo del grado de saturación o agotamiento de potasio. Cuando las posiciones planares están ocupadas por potasio no hay fijación y la concentración de potasio en solución es adecuada. Si el suelo tiene bajo contenido de potasio, al momento de fertilizar,

éste será retenido fuertemente hasta concentraciones en las que se hayan completado los espacios entre octaedros y tetraedros (IIP 1977). La fijación de potasio en suelos caoliniticos, como el suelo evolucionado de Monteleón, aunque debe ser nula, porque no tiene posiciones de cambio interlaminares para enlazar cationes de potasio, puede presentar fijación por efecto de micas (INPOFOS 1997).

Cuadro 8. Análisis mineralógico de la fracción gruesa (arenas y limos) y las arcillas del suelo de planicie aluvial y del suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras<sup>¶</sup>

Constitución <sup>¥</sup>	Suelo aluvial reciente (Azacualpa)		Suelo evolucionado (Monteleón)	
	Muestra total (polvo)	Arcillas	Muestra total (polvo)	Arcillas
Cuarzo	++++	Tr	++++	Tr
Feldespato	Tr		Tr	Tr
Cristobalita	?	?		
Rutilo (TiO <sub>2</sub> )			?	
Micas		+		+
Caolinita		++		++++
Vermiculita		+++		
Esmectita		?		

<sup>¶</sup> Análisis del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.

<sup>¥</sup> Semicuantitativo, + Presente 5-15%, ++ Común 15-30%, +++ Abundante 30-50%, ++++ Dominante >50%, Tr Trazas <6%, ? Dudoso.

## FIJACIÓN DE FÓSFORO

**Fijación de fósforo en el suelo aluvial reciente utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y MAP.** El contenido de fósforo extraído del suelo aluvial reciente sin efecto de fertilización (dosis 0) fue de 175 mg/kg, un valor alto de fósforo en el suelo. A pesar de la abundancia de vermiculita en el suelo aluvial reciente, ésta no interfirió considerablemente en la fijación de fósforo, además de no tener cantidades significativas de óxidos e hidróxidos de hierro que retengan fósforo. Se encontró que la fracción de fósforo fijada aumenta a medida que la concentración del elemento lo hace. El comportamiento de fijación en los dos fertilizantes es similar hasta 100 mg/kg. En adelante, para el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> en las dosis de 200 a 300 mg/kg, hubo una ligera reducción en la fijación, después de la dosis de 300 mg/kg se obtuvo el valor más alto de fijación con 38 mg/kg, mientras que el fosfato monoamónico (MAP) disparó la fijación a partir de la dosis de 300 mg/kg hasta casi 50 mg/kg y se estabiliza, al contrario al H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> que sigue aumentando la fijación (Figura 1). El H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> es más eficiente para la fertilización de fósforo en el suelo aluvial reciente (Azacualpa).



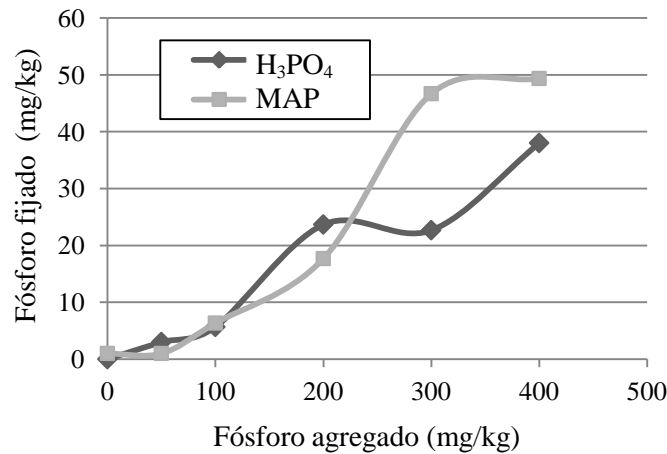


Figura 1. Fijación de fósforo en suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y MAP, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

**Fijación de fósforo en el suelo evolucionado utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y MAP.** El contenido de fósforo extraído del suelo evolucionado sin efecto de fertilización (dosis 0) fue de 23 mg/kg, un valor adecuado de fósforo en el suelo. Se encontró que el valor de fijación de fósforo en el suelo evolucionado incrementa notablemente a medida que la dosis de fertilización lo hace y es más intensa comparada con el suelo aluvial reciente, debido al mayor contenido de óxidos e hidróxidos de aluminio relacionados con la arcilla caolinita. El efecto del fosfato monoamónico (MAP) sobre el comportamiento de fijación de fósforo fue similar al H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (ácido fosfórico) hasta 100 mg/kg, excepto para la dosis de 300 mg/kg, donde la fijación en H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> se disparara hasta 82 mg/kg. A partir de la dosis de 300 mg/kg, ambos fertilizantes siguen aumentando en forma similar. En este caso el MAP es más eficiente para la fertilización de fósforo.

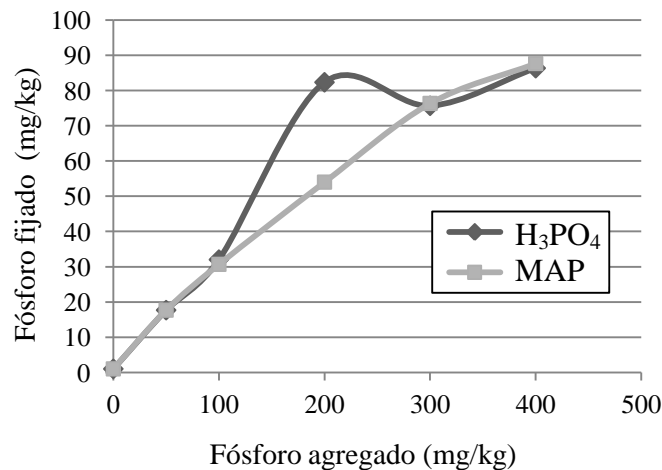


Figura 2. Fijación de fósforo en suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y MAP, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

**Comparación de la fijación de fósforo en el suelo aluvial reciente y el suelo evolucionado utilizando  $H_3PO_4$ .** Con la aplicación de  $H_3PO_4$  ambos suelos fijaron fósforo con el mismo comportamiento a medida que la dosis incrementó, sin embargo, existe una diferencia notable en los niveles de fijación, ya que el suelo aluvial reciente no pasó de 40 mg/kg de fósforo fijado comparado con el suelo evolucionado, el cual alcanzó cerca de 90 mg/kg (Figura 3). Este diferencial de fijación se debe al origen del contenido mineralógico y variación química de cada suelo, siendo el suelo menos fértil y de dominancia de arcilla caolinita y óxidos e hidróxidos de hierro, el más afectado por fijación.

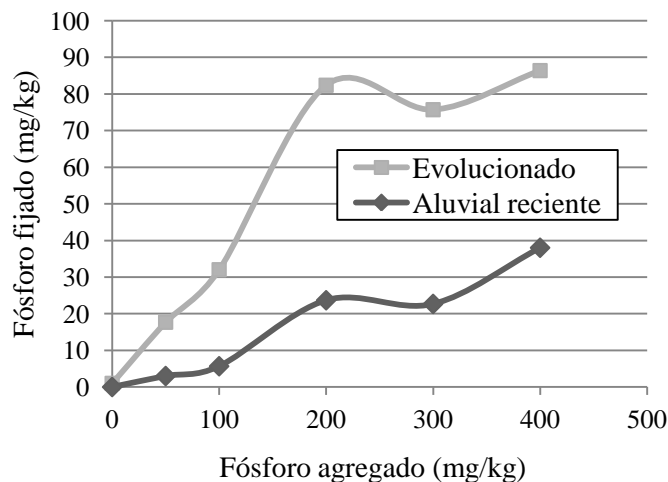


Figura 3. Fijación de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando  $H_3PO_4$ , en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

**Fijación de fósforo en el suelo aluvial reciente y el suelo evolucionado utilizando MAP.** En el suelo evolucionado la fijación de fósforo se incrementó a medida que la dosis lo hizo, alcanzando un valor máximo de 90 mg/kg, a diferencia del suelo aluvial reciente, el cual aunque mantuvo la tendencia de incrementar el valor de fijación hasta 50 mg/kg con el aumento de la dosis, mantuvo la capacidad de fijación en las dosis de 300 y 400 mg/kg (Figura 4).

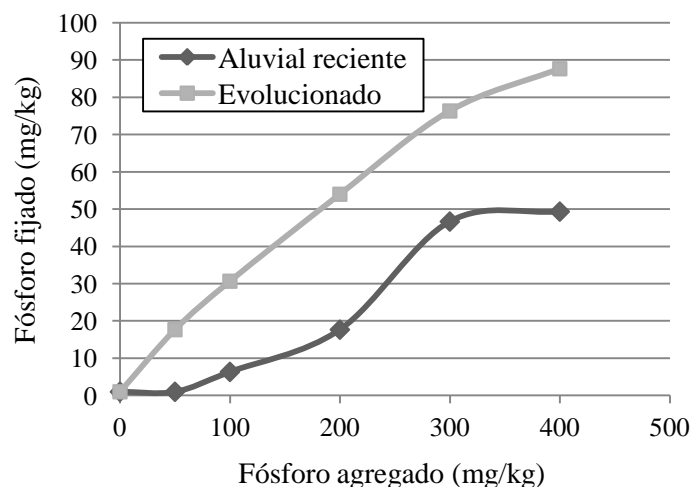


Figura 4. Fijación de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando MAP, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

Investigaciones en diversos sitios y gran cantidad de suelos ha demostrado que todas las fuentes comunes de fósforo son similares cuando se aplican las mismas dosis y cuando los métodos de aplicación son comparables (INPOFOS 1997), aunque la fijación entre la aplicación de dos fuentes fosfatadas ( $H_3PO_4$  y MAP) fue similar, la mineralogía y composición química provocó que el comportamiento de fijación fuera diferente.

En el suelo de origen evolucionado que presenta caolinita, la fijación de fósforo fue mayor. La fijación de fósforo en este suelo pudo deberse a la dominancia de arcillas caolinitas las cuales se relacionan con la presencia de óxidos de hierro que adsorben fosfatos con más fuerza que los minerales silicatados (Mengel y Kirkby 2000). También pudo deberse a su pH moderadamente ácido, ya que la superficie de las arcillas retiene cantidades apreciables de fósforo en un rango de pH 5 a 7 (IIP 1977). Tanto el suelo de origen aluvial reciente como el suelo de origen evolucionado contienen bajo porcentaje de materia orgánica, es necesario considerar su efecto, ya que hay mayor retención de fósforo en suelos con bajo contenido de materia orgánica (Bussetti *et al.* 1999).

**Fijación porcentual de fósforo.** En el suelo de origen aluvial la fijación de fósforo aumenta de 6 a 16% con la concentración de la dosis aplicada de MAP o  $H_3PO_4$ . En el suelo evolucionado la fijación de fósforo disminuye de 35 a 22% en ambos fertilizantes en la medida que aumenta la dosis de fósforo aplicada. Aplicar  $H_3PO_4$  en el suelo de origen evolucionado genera un proceso de desorción a partir de la dosis de 100 mg/kg (Figura 5).

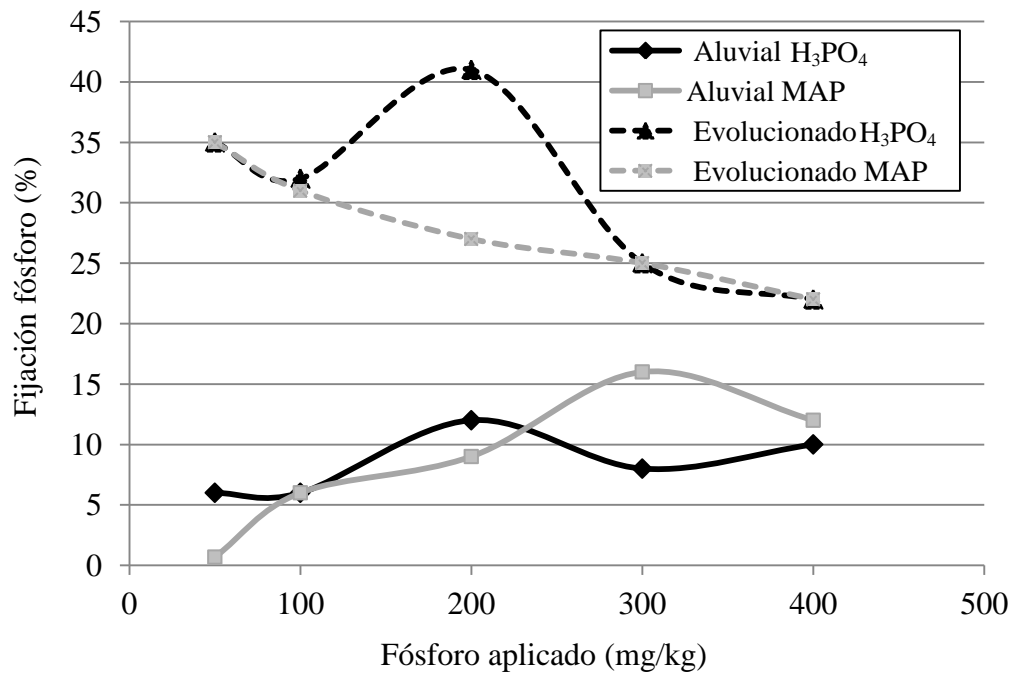


Figura 5. Fijación porcentual de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

**Relación entre la dosis de fertilizante y la fijación de fósforo en el suelo.** Se encontró una correlación cuadrática muy alta y positiva entre la dosis y la fijación de fósforo en el suelo aluvial reciente y el suelo evolucionado, utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> o MAP (Cuadro 9).

Cuadro 9. Ecuaciones para la determinación de la fijación de fósforo en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) a partir de la dosis de fertilizante.

Suelo	Fertilizante	Ecuación	R <sup>2</sup> (%)
Aluvial reciente	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$P_{fijado} = -1.00462 + 0.0977658(Dosis P)^{\dagger} - 0.0000087(Dosis P)^2$	94.2
	MAP	$P_{fijado} = +3.75503 + 0.118414(Dosis P) - 0.0000601(Dosis P)^2$	93.8
Evolucionado	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$P_{fijado} = -3.41537 + 0.506384(Dosis P) - 0.0007181(Dosis P)^2$	95.4
	MAP	$P_{fijado} = -3.41537 + 0.506384(Dosis P) - 0.0007181(Dosis P)^2$	95.4

<sup>†</sup>Dosis de fósforo expresada en mg/kg

## FIJACIÓN DE POTASIO

**Fijación de potasio en el suelo aluvial reciente y el suelo evolucionado utilizando KCl.** Para el suelo de origen aluvial reciente el potasio en el suelo fue de 1.27 cmol/kg (alto) y para el suelo de origen evolucionado fue de 0.32 cmol/kg (medio). Ambos suelos reflejaron el mismo incremento de fijación hasta la dosis de 150 mg/kg, a partir de allí, la fijación en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) decreció hasta 4 mg/kg para las dosis más altas. Por el contrario, en el suelo de origen evolucionado (Monteleón) la fijación aumento a medida que la dosis lo hizo, siendo hasta 82 mg/kg para las dosis más altas (Figura 6). Esta variación se debe a la composición asociada a los minerales, ya que el potasio fijado por minerales arcillosos 2:1 vermiculita, abundante en el suelo aluvial reciente, es mayor que la de los minerales arcillosos 1:1 caolinita (Zhang *et al.* 2009), dominante en el suelo evolucionado.

El comportamiento de fijación en el suelo de origen aluvial reciente se explica debido a que el potasio fertilizante es atrapado en las posiciones interlaminares del mineral arcilloso (vermiculita) y la superficie externa de las arcillas son ocupadas gradualmente por el potasio, y solo después de que han sido rellenadas puede ser liberado a la solución del suelo (INPOFOS 1997). De allí el alto valor de fijación para las dosis más bajas, ya que al agregar fertilizante se ve afectado por la cantidad, naturaleza y saturación potásica de las arcillas, que provocan una redistribución del potasio agregado en las formas intercambiables y fijadas, de esta manera, provoca cambios en la dinámica del potasio favoreciendo la liberación a la solución por aumento de potasio intercambiable y potasio fijado (Conti s.f.), es decir que para las dosis altas la fijación es menor porque la concentración de potasio en la solución ha sido lograda debido a que las posiciones han sido ocupadas por iones de potasio y el nivel de potasio en el suelo fue alto aún sin aplicación de fertilizante.

En el suelo evolucionado, la fijación de potasio no puede adjudicarse a la arcilla caolinita, ya que no tiene posiciones de cambio interlaminares para adsorber potasio, considerando otros factores como el bajo contenido materia orgánica, el pH ácido, la fertilización, el sistema de labranza y el bajo contenido de K mineral en el suelo como los principales causantes de la retención de potasio en el suelo (Zhang *et al.* 2009).

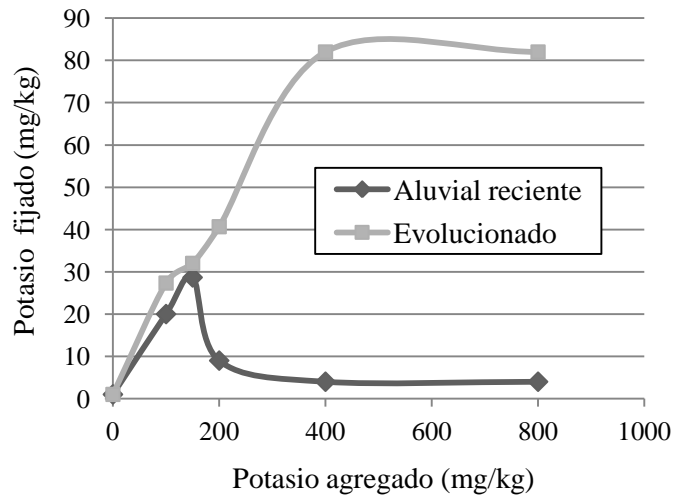


Figura 6. Fijación de potasio en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando KCl, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

**Fijación porcentual de potasio.** En el suelo de origen aluvial reciente, el potasio se fijó en mayor proporción con dosis más bajas de fertilizante (20%) y bajó su fijación (1%) en las dosis altas. En el suelo de origen evolucionado el potasio se fijó alrededor de 20% para las dosis de 100, 150, 200 y 400 mg/kg, y bajó a 10% de fijación en la dosis de 800 mg/kg (Figura 7). Estos resultados indican que el suelo de origen aluvial reciente tiene un efecto muy bajo sobre la fijación, por lo tanto la mayoría del fertilizante aplicado será disponible para las plantas, asimismo, necesita menor aplicación de fertilizante, siempre y cuando no se dejen agotar las reservas que las arcillas vermiculitas que liberan cuando la concentración de potasio en la solución del suelo disminuye. En el suelo de origen evolucionado, el alto porcentaje de fijación, no solo se debe al bajo contenido de potasio en el suelo, sino también a la presencia de micas que son altas fijadoras de potasio.

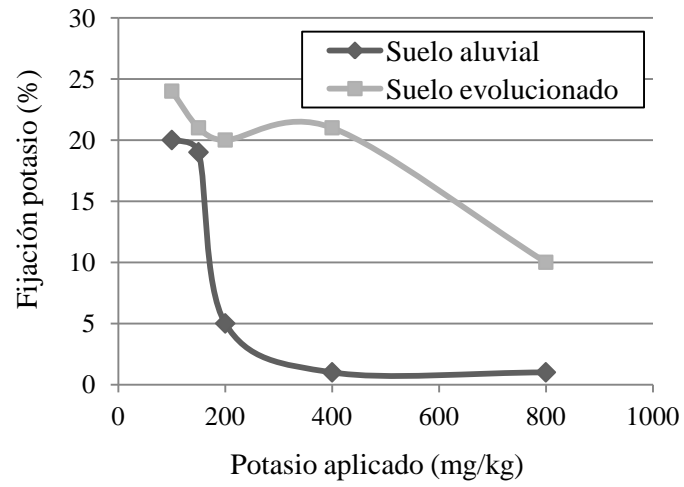


Figura 7. Fijación porcentual de potasio en el suelo de origen aluvial reciente (Azacualpa) y el suelo de origen evolucionado (Monteleón) utilizando KCl, en el Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.

## 4. CONCLUSIONES

- Los suelos de diferente origen fijan fósforo y potasio de manera diferencial.
- En los suelos estudiados, la fijación de fósforo aumenta en la medida que la dosis de fertilizante lo hace.
- En el suelo de origen aluvial la fijación de fósforo aumenta de 6 a 16% con la concentración de la dosis aplicada.
- En el suelo evolucionado la fijación de fósforo varía entre 40 y 22% de la dosis aplicada y disminuye al aumentar la concentración del fertilizante, dado a la cantidad de óxidos e hidróxidos de hierro que se asocian a la arcilla caolinita en suelos maduros. Estos óxidos son amorfos, por eso no se reflejan en los resultados mineralógicos.
- La relación entre dosis aplicada (mg/kg) y fósforo fijado (mg/kg) es alta y positiva, con un  $R^2$  de 84 a 94% tanto con  $H_3PO_4$  como en MAP, en los suelos estudiados.
- Las dos fuentes de fósforo ( $H_3PO_4$  y MAP) son similares en cuanto al nivel de fijación en los dos suelos. Al usar ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) como fuente de P entre 200 y 300 mg/kg la fijación no aumenta, a dosis mayores sigue incrementando.
- En suelo de origen aluvial reciente, rico en vermiculita, el potasio se fija en mayor proporción con dosis más bajas de fertilizante (20%) y baja su fijación (1%) a dosis altas.
- En suelo de origen evolucionado rico en caolinita, el potasio se fija en igual proporción (20%) con las dosis de fertilizante 100, 150, 200 y 400 mg/kg, y disminuye (10%) en la dosis de 800 mg/kg.



## 5. RECOMENDACIONES

- Utilizar las ecuaciones de regresión para Azacualpa con  $H_3PO_4$ , P fijado =  $- 1.00462 + 0.0977658(\text{Dosis P}) - 0.0000087(\text{Dosis P})^2$  y con MAP, P fijado =  $+ 3.75503 + 0.118414(\text{Dosis P}) - 0.0000601(\text{Dosis P})^2$ ; y para Monteleón con  $H_3PO_4$ , P fijado =  $- 3.41537 + 0.506384(\text{Dosis P}) - 0.0007181(\text{Dosis P})^2$  y con MAP, P fijado =  $3.41537 + 0.506384(\text{Dosis P}) - 0.0007181(\text{Dosis P})^2$ , para determinar la fijación de fósforo a diferentes concentraciones.
- Aplicar tanto fósforo como potasio más frecuentemente, dado que existe un potencial de fijación.
- Evaluar la fijación de fósforo y potasio a través de la fluctuación de humedad, ya que es poco probable que el secamiento rápido que se utiliza en el laboratorio (por ende el grado de fijación que se obtiene) ocurra bajo condiciones normales de campo.
- Realizar un análisis de correlación entre la absorción de nutrientes por la planta y el resultado de fijación de laboratorio, ya que es difícil extrapolar las medidas obtenidas en el laboratorio para predecir el comportamiento de los elementos en el campo y el puede que el elemento fijado puede ser fácilmente disponible para los cultivos.

## 6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G; Gauggel, C. 2010. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal: manual de prácticas 2010. 5 ed. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 75 p.

Besoain, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. San José, Costa Rica. 1216 p.

Bussetti, S; Ferreiro, E. A; Natale; Mandolest, M.E. 1999. Fósforo retenido por suelos y por sus fracciones granulométricas en relación con la materia orgánica. Argentina. Ciencias del suelo 17 (2): 54.

Conti M. E. s.f. Disponibilidad de potasio: aspectos relacionados a la dinámica de liberación y renovación de la solución del suelo. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://www.ipipotash.org/udocs/Sesion%201.pdf> . Consultado el 28 de septiembre de 2011.

Díaz Romeu, R; Hunter, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 61 p.

Henríquez, C; Bornemsza, E; Bertsch, F. 1994. Fijación de potasio en vertisoles, inceptisoles, andisoles y ultisoles de Costa Rica. Costa Rica. Agronomía Costarricense 18(2): 133-140.

Huang, S. W; Jin J, Y. 1996. Potassium fixation in different soils from north China. Plant Nutr Fert Sci. 2(2): 131-138.

IIP (Instituto Internacional de la Potasa). 1977. Dinámica del potasio en el suelo. Guía extensión. Worblaufen-Bern, Suiza. 11 p.

INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo). 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. U.S.A.

Mengel, K; Kirkby, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. 4 ed. Melgar; Ruiz, M. eds, IPI (International Potash Institute), Basel, Switzerland. 692 p.

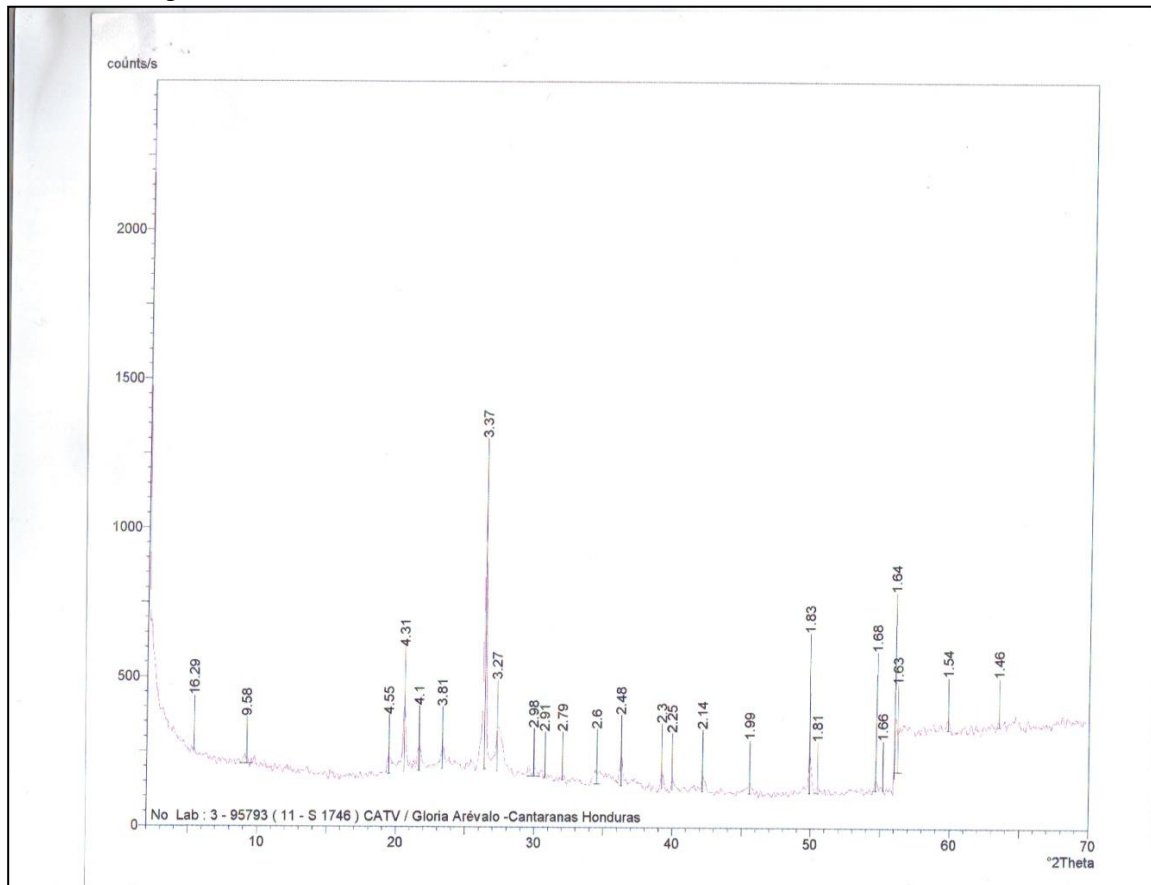
Pérez Izquierdo, M; León Ortiz, M; González Hidalgo, M; Villegas Delgado, R. 2003. Variación de la fertilización fosfórica con el tiempo en un agro-ecosistema cañero. INICA, La Habana, Cuba. Centro Azúcar 30(2): 117-120.

Whalen, J. K; Sampredro, L. 2010. Soil ecology & management. Canada. CAB international.

Zhang, H; Xu, M; Zhang, W; He, X. 2009. Factors affecting potassium fixation in seven soils under 15-year long-term fertilization. Chinese Science Bulletin.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Difractograma por rayos X del suelo aluvial reciente (Azacualpa) proporcionado por la unidad de mineralogía del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.



Anexo 2. Difractograma por rayos X del suelo evolucionado (Monteleón) proporcionado por la unidad de mineralogía del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.

