

INFLUENCIA DE DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA CON MAÍZ SOBRE LAS FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL SUELO DE UNA SABANA BIEN DRENADA

Ismael Hernández-Valencia^{1*}, Rosa Mary Hernández-Hernández², Zenaida Lozano³ y Carlos Bravo⁴

¹Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. ²Universidad Simón Rodríguez, Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos. ³Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. ⁴Universidad Estatal Amazónica.*ismael.hernandez@ciens.ucv.ve.

RESUMEN

Las prácticas agrícolas intensivas en las sabanas de Venezuela generan degradación de los suelos, lo que hace necesario evaluar e implementar nuevos sistemas de producción con una concepción agroecológica para un uso más sostenible la tierra. En suelos arenosos del estado Guárico se estableció un ensayo en donde se evaluaron diferentes coberturas (vegetación espontánea, *Urochloa brizantha* y *Centrosema macrocarpa*) en asociación con maíz bajo siembra directa, pastoreo de ovinos y fertilización con roca fosfórica y se compararon las variaciones en las fracciones de fósforo luego de cuatro años de establecidas las coberturas respecto a una sabana nativa como control. Los resultados indican que, bajo las asociaciones evaluadas, se favorece una disminución de las formas más resistentes del P (Pi-HCl, P-residual), mientras que se incrementa las fracciones inorgánicas disponibles a mediano plazo (Pi-NaOH). Algunas asociaciones pueden generar una reducción del capital de P del suelo, por lo cual debieran ser reformuladas para estas condiciones agroecológicas, una vez que se evalúen los rendimientos de las coberturas y el maíz, las ganancias de peso del ganado ovino, así como los impactos ambientales derivados de su implementación. *Centrosema macrocarpa* es el tratamiento que procura mayor economía del fósforo del suelo, ya que no reduce el P total y mantiene o aumenta las reservas de mayor disponibilidad.

Palabras clave: fraccionamiento de fósforo, suelos arenosos, roca fosfórica, agroecología.

Influence of different types of cover crops in direct sowing systems with maize on phosphorus fractions in the soil of a well-drained savanna

Abstract

Intensive agricultural practices in the savannas of Venezuela generate soil degradation, which makes necessary to evaluate and implement new production systems with an agroecological conception for more sustainable land use. In sandy soils of the Guárico state, a trial was established where different covers crops were evaluated in association (spontaneous vegetation, *Urochloa brizantha* and *Centrosema macrocarpa*) with maize under direct sowing, sheep grazing and fertilization with phosphate rock and the variations in phosphorus fractions were compared after four years with respect to a savanna native as control. The results indicate that under the associations evaluated, a decrease in the most resistant forms of P (Pi-HCl, P-residual) is favored, while the inorganic fractions available in the medium term (Pi-NaOH) increase. Some associations can generate a reduction in the soil P stock, which is why they should be reformulated for these agroecological conditions, once the effects are evaluated yields of covers crops and maize, weight gains of sheep, as well as the environmental impacts derived from its implementation. *Centrosema macrocarpa* treatment provides the greatest economy of soil phosphorus, since it does not reduce the total P and maintains or increases the reserves of greater availability.

Keywords: phosphorus fractionation, sandy soils, phosphate rock, agroecology.

INTRODUCCIÓN

El clima estacional y la pobreza nutricional de los suelos restringen el desarrollo de una ganadería intensiva, rentable y ecológicamente sustentable en las sabanas de Suramérica. El sobrepastoreo, la introducción de maquinaria, el uso de altas dosis de fertilizantes y biocidas para el control de malezas y plagas y la sustitución de los pastos nativos por pastos introducidos, más productivos, pero con mayor demanda de nutrientes son los factores más frecuentes que generan esta situación. A ello se suma la degradación de los suelos por su pobreza estructural y el fuerte poder erosivo de las lluvias. Como consecuencia de ello, los suelos se degradan y la productividad de los cultivos disminuyen, produciendo el abandono de la tierra e iniciando un nuevo ciclo de intervención en áreas que no han sido cultivadas y que posiblemente son menos aptas para este fin (Lozano, 2007). Por su extensión e importancia económica, se hace necesario estudiar diversas prácticas agronómicas adaptadas a las condiciones ecológicas de las sabanas, con el fin de seleccionar aquellas que permitan una mayor sustentabilidad económica y ecológica y una menor degradación de estos ecosistemas. Las denominadas “prácticas agroecológicas” (como el uso de labranza conservacionista, cultivos asociados, abonos verdes y compostaje, entre otras) pueden ser una alternativa que genere menor degradación del suelo, y por ello deben ser estudiadas en campo y laboratorio para conocer su factibilidad técnica, económica y social en la procura de una agricultura más sostenible.

En suelos de sabanas, la deficiencia de fósforo es considerada una de las más importante (San José y García Miragaya, 1981; Goedert, 1983; López-Hernández, 2019) y se produce por la alta reactividad del fosfato inorgánico con los oxihidróxidos de hierro y aluminio, situación que favorece una merma de P disponible para las plantas (Fontes y Weed, 1996; López Hernández, 2019). El uso de fuentes convencionales de fósforo (super fosfato triple, fosfato de calcio, fosfato de potasio, fosfato de amonio, etc.) es poco eficiente, ya que estos son fijados en el suelo debido a su alta reactividad ya mencionada (López Hernández, 1977; 2019). A este respecto, se estima que del P aplicado como fertilizante para los cultivos sólo el 10-20% es aprovechado durante el primer año, debido a que la mayor parte es rápidamente fijado o precipitado a formas de baja solubilidad (Vance, 2001; Vu *y col.*, 2008). En este sentido, el uso de roca fosfórica como fuente de P puede ser una alternativa, ya que él mismo se libera más lentamente respecto a las fuentes convencionales y eventualmente pudiera ser más aprovechable por las plantas (Bettoni Telles *y col.*, 2020).

El suelo presenta varias formas o fracciones de P, que en forma general se pueden discriminar como fósforo inorgánico (Pi) y el orgánico (Po) y a su vez cada uno de estos compartimientos pueden ser discriminados en otras formas más específicas dependiendo del tipo de técnica de fraccionamiento utilizado (Tiessen y Moir, 1993; Hernández Valencia 1996;

2008). Las fracciones de Po pueden constituir una fuente importante de P disponible para las plantas, el cual usualmente no es considerado en los análisis de rutina con fines de diagnóstico de fertilidad (Tiessen y Moir, 1993; López y col., 2006). La cuantificación de los diferentes reservorios de P en el suelo proporciona información respecto al destino del elemento después de la adición de fertilizante. Esto puede contribuir a un mejor entendimiento de su dinámica para desarrollar sistemas de manejo más eficientes en el uso de los fertilizantes fosfatados (Boschetti y col., 2004).

En el presente trabajo se estudiaron los cambios en los tenores de las fracciones de P en el suelo por el establecimiento de diferentes coberturas como barbechos mejorados asociados con maíz bajo siembra directa y fertilizados con roca fosfórica. Ello permitirá determinar cómo estos sistemas afectan la disponibilidad y transformaciones del P en el suelo y contribuirá a la selección de sistemas de producción de mayor productividad y menor impacto ambiental y económico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental La Iguana, Estado Guárico, Venezuela ($65^{\circ} 15' O$, $8^{\circ} 40' N$). La precipitación anual del sitio es de 1369 mm, distribuida en una época seca bien marcada y una lluviosa de 6 a 7 meses, comprendida entre los meses de marzo a noviembre. La temperatura promedio anual es de $27,5^{\circ} C$. La vegetación nativa corresponde a una sabana de *Trachypogon* arbolada, que se desarrolla sobre suelos arenosos, fuertemente ácidos y de baja fertilidad natural identificados como Ustoxic Quartzipsamments (Matheus, 1986).

Previo a la instalación del ensayo se realizó un estudio de variabilidad espacial que permitió estimar el tamaño óptimo, orientación de las parcelas y número de muestras necesarias para evaluar el contenido de fósforo en el suelo. El diseño utilizado correspondió al de parcelas grandes sin repetición con un área de $900\ m^2$, con 12 muestras por tratamiento. Las evaluaciones se realizaron en un ensayo instalado a nivel de campo con tres tratamientos de coberturas usadas como barbechos mejorados para el sistema maíz en siembra directa y posterior pastoreo con ganado ovino. Las coberturas utilizadas fueron la vegetación espontánea que se desarrolla después del laboreo (Ve) y que está compuesto principalmente por las especies *Hyptis suaveolens*, *Trachypogon spicatus*, *Axonopus* sp., e *Indigofera indica*, entre otras, *Urochloa dyctioneura* (Ud) y *Centrosema macrocarpa* (Cm), además de una parcela testigo en donde se encuentra la sabana nativa de *Trachypogon spicatus* (Sn). Para el establecimiento de las coberturas se usó labranza convencional y roca fosfórica como enmienda y fuente de fósforo. En mayo del segundo año se sembró el maíz y en la época seca (diciembre-enero) se realizó el pastoreo con ganado ovino mestizo tropical ($3\ ua\ ha^{-1}$). Un resumen del manejo realizado se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las actividades y labores culturales realizadas en el ensayo (Adaptado de Lozano, 2007).

Actividades y labores culturales	Establecimiento de coberturas (mayo 1999)	Primer ciclo (abril 2000-febrero 2001)	Segundo ciclo (junio 2001-marzo 2002)	Tercer ciclo (mayo 2002-marzo 2003)	Cuarto ciclo (Julio 2003-febrero 2004)
Mecanización	2 pasos cruzados de rastra	1 pase de rotativa a las coberturas	1 pase de rotativa a las coberturas	1 pase de rotativa a las coberturas	1 pase de rotativa a las coberturas
Control de malezas		4 L ha ⁻¹ Paraquat	4 L ha ⁻¹ Paraquat	4 L ha ⁻¹ Paraquat	4 L ha ⁻¹ Paraquat
Siembra	4 kg ha ⁻¹ para la gramínea y 3 kg ha ⁻¹ para la leguminosa	Siembra directa de maíz híbrido Selvarca 02 tratado con Thiodicarb (86750 pta ha ⁻¹)	Siembra directa de maíz híbrido Selvarca 02 (73300 pta ha ⁻¹)	Siembra directa de maíz híbrido INIA 2002 tratado con Thiodicarb (79300 pta ha ⁻¹)	Siembra directa de maíz híbrido INIA 2002 tratado con Thiodicarb (83300 pta ha ⁻¹)
Fertilización básica al momento de la siembra	0 - 120 - 50 kg ha ⁻¹ N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (roca fosfórica-cloruro de potasio)	70 - 90 - 90 kg ha ⁻¹ N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (urea, fosfato diamónico, cloruro de potasio)	70 - 90 - 90 kg ha ⁻¹ N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (urea, fosfato diamónico, sulfato doble de potasio y magnesio)	60 - 100 - 40 kg ha ⁻¹ N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (urea, fosfato diamónico, sulfato doble de potasio y magnesio)	60 - 100 - 40 kg ha ⁻¹ N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (urea, fosfato diamónico, sulfato doble de potasio y magnesio)
Primer reabono	55 kg ha ⁻¹ urea, 30 días después de la siembra	50 kg ha ⁻¹ N-urea, 30 días después de la siembra	25 kg ha ⁻¹ N-urea, 25 días después de la siembra	40 kg ha ⁻¹ K ₂ O-cloruro de potasio, 25 días después de la siembra	40 kg ha ⁻¹ K ₂ O-cloruro de potasio, 25 días después de la siembra
Segundo reabono		4 kg ha ⁻¹ de MgO en aplicación foliar, 51 días después de la siembra	25 kg ha ⁻¹ de N-urea, 45 días después de la siembra	30 kg ha ⁻¹ de N-urea, 45 días después de la siembra	30 kg ha ⁻¹ de N-urea, 45 días después de la siembra
Pastoreo		8 semanas de pastoreo con ganado ovino mestizo tropical.	7 semanas de pastoreo con ganado ovino mestizo tropical.	8 semanas de pastoreo con ganado ovino mestizo tropical.	6 semanas de pastoreo con ganado ovino mestizo tropical.

Las parcelas recibieron una fertilización inicial con roca fosfórica como fuente de P₂O (90-120 kg ha⁻¹), N como urea (70-120 kg ha⁻¹) y K (50-90 KCl o K₂O kg ha⁻¹). A partir del segundo año se sembró maíz en siembra directa sobre las distintas coberturas en la época húmeda y se realizó pastoreo mestizo tropical ovino en la época seca. Cuatro años más tarde, doce muestras de suelos superficial (0-15 cm) de los diferentes tratamientos (Ve, Ud y Cm) y el control (Sn) fueron tomados al azar con el fin de establecer los cambios en el *status* de P. La técnica de fraccionamiento utilizada fue la secuencial propuesta por Hedley *y col.* (1982). Esta técnica permite diferenciar las siguientes fracciones de P inorgánico (Pi) y P orgánico (Po) presentadas en la Tabla 2. En la fracción extraíble con HCl 1M no se encontró Po, por lo que no se presenta en los resultados.

Tabla 2. Extractantes utilizados en el fraccionamiento secuencial del fósforo.

Extractante	Fracción de P
Resina de intercambio Dowex-Cl 1x 8 (Pi-resina)	Pi en solución e isotópicamente intercambiable altamente disponibles para la biota
NaHCO ₃ 0,5M (P-Bic)	Pi débilmente adsorbido a la superficie de intercambio Po fácilmente hidrolizable (ej. ácidos ribonucleicos y glicerofosato)
NaOH 0,1M (P-NaOH)	Pi y Po asociados a compuestos amorfos y cristalinos de hierro y aluminio, los cuales constituyen compuestos secundarios moderadamente disponibles.
HCl 1M (Pi-HCl)	Formas estables de Pi asociadas a minerales primarios y Po asociados a la materia orgánica particulada
Digestión en H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ Concentrado (P-residual)	Pi y Po residual. Material recalcitrante de muy lenta mineralización y/o solubilización

Un ANOVA de una vía y una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) fue utilizado para comparar las medias de las fracciones para los diferentes tratamientos. La prueba de correlación de Pearson fue utilizada para

verificar las correlaciones entre las fracciones dentro de un mismo tratamiento ($p \leq 0,05$). Los resultados obtenidos fueron procesados a través de un análisis de Escalado Multidimensional No Métrico (Non-Metrical Multidimensional Scaling), que es un análisis de ordenación multivariado que coloca los datos en un espacio geométrico basándose en sus similitudes, en este caso de acuerdo a las similitudes de Bray y Curtis.

RESULTADOS

La Tabla 3 presenta las fracciones de P en los diferentes tratamientos. Como puede observarse, la introducción de las diferentes coberturas en asociación con el maíz bajo siembra directa y fertilización con roca fosfórica, produjeron cambios en algunas fracciones de P en comparación a Sn, suponiendo que en esta última condición no hubo cambios significativos en los cuatro años en que se desarrolló la investigación. Dentro de las fracciones de Pi, el Pi-resina no mostró cambios bajo las diferentes coberturas en comparación a Sn, mientras que el Pi-NaHCO₃ accusó una ligera disminución en Ud. El Pi-NaOH aumentó bajo las coberturas de Ve, Ud y Cm, mientras que el Pi-HCl disminuyó. Cuando se suman las fracciones de Pi, esta evidencia un aumento en las coberturas asociado principalmente al incremento del Pi-NaOH.

Tabla 3. Fracciones de P en los diferentes tratamientos evaluados (mg kg⁻¹).

Fracción de P	Vegetación nativa	Vegetación espontánea/maíz	U. decumbens/maíz	C. macroura/maíz
P inorgánico				
Pi resina	2,9 (0,1)a	3,9 (0,2)a	2,7 (0,2)a	3,8 (0,2)a
Pi NaHCO ₃	5,4 (0,5)a	6,9 (0,6)a	3,6 (0,6)b	6,4 (0,6)a
Pi NaOH	4,4 (0,4)c	10,5 (0,5)b	10,6 (1,0)b	11,9 (1,1)a
Pi HCl	11,3 (0,6)a	8,5 (0,6)b	9,4 (0,6)b	8,1 (1,1)b
Total Pi	24,0 (1,7)b	29,8 (1,7)a	26,3 (1,7)ab	30,2 (1,8)a
P orgánico				
Po NaHCO ₃	4,2 (0,4)ab	3,7 (0,7)b	3,8 (0,5)b	6,4 (0,6)a
Po NaOH	14,4 (1,2)a	6,8 (0,5)b	8,1 (0,9)b	11,9 (1,1)a
Total Po	18,6 (1,1)a	10,5 (2,9)b	11,9 (1,2)b	18,3 (1,6)a
P residual	23,4 (1,1)a	11,6 (1,2)c	16,9 (1,0)ab	11,8 (1,1)c
P total	66,0 (2,0)a	51,9 (1,2)c	54,1 (1,1)c	60,3 (3,7)b

En lo que respecta al fósforo orgánico, el Po- NaHCO₃ muestra un ligero aumento en Cm, mientras que el Po-NaOH disminuye bajo Ve y Ud. Estos cambios producen en el Po total disminuciones bajo las coberturas de Ve y Ud. El P residual disminuye bajo todas las coberturas, mientras que el P total lo hace en Ve y Ud. Cuando se aplicó la prueba de correlación de Pearson para verificar si había relación entre el descenso del contenido de una fracción con el aumento del contenido en otra, no se encontró relación significativa para ninguno de los tratamientos ($r < 0,497$ en todos los casos, para un $n = 12$ y $p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Luego de cuatro años se observó que los tratamientos evaluados producen cambios en las fracciones de P en el suelo, que en algunos casos se verifica en el contenido de P total y en otros casos por cambios específicos en algunas de las fracciones. Como primer aspecto, dentro de las grandes fracciones genéricas, el Pi representa al menos el 36,4%, 57,4%, 48,6% y 50,1% en Sn, Ve, Ud y Cm respectivamente; el Po representa al menos 28,2%, 20,2%, 22,0% y 30,3% en Sn, Ve, Ud y Cm respectivamente y el P residual (que tiene en conjunto Pi y Po recalcitrante no extraíble con los extractantes previos) el 35,4%, 22,4%, 29,4% y 19,6% en Sn, Ve, Ud y Cm respectivamente. Los resultados evidencian un predominio de la fracción inorgánica y dentro de ellas las fracciones extraíbles con NaOH y HCl.

Como segundo aspecto encontramos que la fertilización con roca fosfórica no procuró un aumento en el contenido de P total; por el contrario, los contenidos fueron inferiores en Ud y Ve o similares en Cm respecto a Sn (Cuadro 2). Los valores de P total de este estudio se encontraron dentro de los mismos órdenes de magnitud reportados para otras sabanas bien drenadas sobre suelos arenosos (Hernández Valencia y Bautis, 2005; Lozano *y col.*, 2012). En principio, estas diferencias estarían ligadas a los distintos requerimientos de P por las coberturas utilizadas. A este respecto, se ha reconocido que las leguminosas tienen mayores requerimientos de fósforo que las gramíneas para su producción y persistencia, ya que este elemento es esencial para la fijación simbiótica del nitrógeno (Caradus, 1980; Mitran *y col.*, 2018); sin embargo, este no fue nuestro caso porque las coberturas donde no dominaban las leguminosas (Ve y Ud) fueron las que acusaron menores valores de P total. De acuerdo a Lozano (2007), el tratamiento con Ud fue uno de los que produjo mayor cantidad de materia seca, tanto del forraje como el maíz, lo que pudiera justificar este resultado.

Como tercer aspecto se observó una redistribución de las fracciones de P en las asociaciones, con un aumento en el P inorgánico ligado al hierro y aluminio (Pi-NaOH) y una reducción del Pi-HCl y P-residual. Este último hallazgo es inesperado si se considera que en estas fracciones se encuentra el P más estable que el Pi-NaOH y en consecuencia de más difícil disolución y mineralización. Tampoco se observaron modificaciones significativas en el pH del suelo en relación a la sabana control y que pudiera explicar el incremento en el Pi-NaOH (Lozano, 2007). En contraste, el Pi-resina que es la fracción con mayor disponibilidad para la nutrición mineral de las plantas no mostró cambios significativos. Ello sugiere que parte del Pi adicionado a través de la fertilización, sufrió transformaciones para formar compuestos secundarios inorgánicos de hierro y aluminio, mientras que las formas orgánicas y las recalcitrantes fueron mermadas para favorecer la nutrición de las plantas y aquellas

fracciones con mayores disponibilidades para las plantas que se mantuvieron constantes (Pi-resina) o con ligeros disminuciones (Pi-NaHCO₃ en Ud). Sin embargo, ninguna relación lineal se encontró entre el incremento de la fracción Pi-NaOH con la disminución de P-residual entre las diferentes coberturas. En el caso de Ve y Ud, el Po total, la fracción extraíble con NaOH disminuyó, lo cual corrobora los hallazgos de diversos autores sobre la importancia del Po en la nutrición de las plantas de suelos tropicales con deficiencias de P (Tiessen y col., 1984, Nziguheba y Bünemann, 2004; López-Hernández y col., 2009). Aunque se suministró roca fosfórica, el contenido de P asociado a minerales primarios (Pi-HCl) fue menor en los tratamientos bajo coberturas respecto a Sn. Ello indica que la roca fosfórica fue objeto de solubilización, lavado y/o incorporación por las plantas bajo las condiciones de este ensayo, caracterizado por pHs moderadamente ácidos y altas precipitaciones.

Los resultados de este estudio contrastan con los de Lozano y col. (2012) quienes trabajaron en un suelo identificado como Typic Plinthustults, ubicado en la misma Estación Experimental La Iguana, usando como cultivos de cobertura *Urochloa dictyoneura* (UD) y la leguminosa *Centrosema macrocarpum* (CM) con siembra directa de maíz como cultivo asociado. Los tratamientos fueron los siguientes: Control: sin fertilización (sabana nativa), BRF+M: dosis baja de P como roca fosfórica (25% P₂O₅ + inoculación con micorriza), ARF: dosis alta de P (100% P₂O₅ como roca fosfórica) y ARF+FD: dosis alta de P (50% P₂O₅ como roca fosfórica + 50% P₂O₅ como fosfato diamónico). El P total sin el residual mostró un incremento promedio entre 12 y 38% respecto a la sabana nativa, con excepción del tratamiento BRF+M en CM, donde hubo una reducción del 20%. El mayor incremento en las coberturas introducidas con relación a la sabana nativa fue en el Pi (76%) y en la fracción lábil (125%), producto de la fertilización fosfórica aplicada. Posiblemente tanto el P incorporado con los fertilizantes como las formas orgánicas moderadamente lábiles fueron utilizadas por el cultivo o mermadas para favorecer las fracciones que mostraron incrementos, tal y como sugiere Hernández-Valencia (2008). Las fracciones Pi-MIA, Pi-NaHCO₃ y Pi-NaOH, actuaron como sumidero de los fertilizantes aplicados y del proveniente de la descomposición de residuos de las coberturas y como fuente del P disponible para el maíz (excepto BRF+M), dado su incremento con relación a los contenidos en la sabana nativa. El que en algunas fracciones se presenten los menores valores de P en el tratamiento BRF+M, en ocasiones menores al control en ambas coberturas, se puede atribuir a que en este tratamiento se aplicó una dosis baja de P y en el control, a pesar de que no se aplicó P, el cultivo de maíz no se desarrolló, por lo que no hubo pérdidas por la absorción del cultivo.

La ordenación de los datos a través del análisis de Escalado Multidimensional No Métrico (Figura 1) muestra claramente que, en la mayoría de los casos, con excepción de Cm para un mismo tratamiento se

agrupan los datos y se separan de los otros tratamientos, siendo más similares Sn y Ud, respecto a los restantes, mientras que en el caso de Cm los datos son más dispersos.

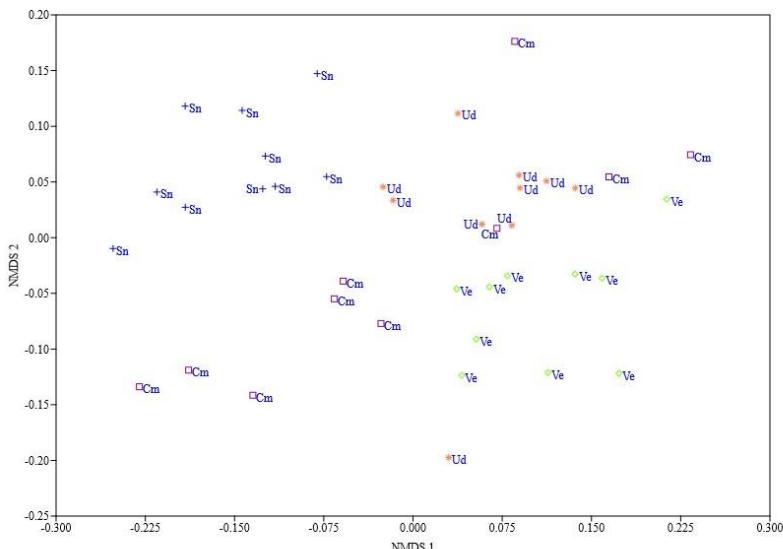


Figura 1. Resultados del análisis de Escalado Multidimensional No Métrico de los datos de las fracciones bajo los diferentes tratamientos.

De los resultados de nuestro trabajo se deriva que el tratamiento Cm procura una mayor economía del P del suelo, ya que no ocurre un descenso en su contenido total, mantiene (Pi-resina) e incrementa (Pi-NaHCO₃) las reservas de mayor disponibilidad, además que favorece el incremento del contenido de N total por ser una leguminosa (Lozano 2007).

CONCLUSIONES

Los resultados indican que, bajo las asociaciones evaluadas, se favorece una disminución de las formas más resistentes del P (Pi-HCl, P-residual), mientras que se incrementa las fracciones inorgánicas disponibles a mediano plazo (Pi-NaOH) y se mantienen las de disponibilidad inmediata (Pi-resina). Algunas asociaciones pueden generar una reducción del capital de P del suelo (Ud, Ve), por lo cual debieran ser reformuladas, una vez que se evalúen los rendimientos de las coberturas y el maíz, las ganancias de peso del ganado ovino, así como los impactos ambientales derivados de su implementación. El tratamiento de Cm es el que procura mayor economía del fósforo del suelo, ya que no reduce el P total y mantiene las reservas de disponibilidad inmediata.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Dra. Alejandra Zamora por su apoyo en los análisis estadísticos.

LITERATURA CITADA

- Boschetti, N., C.E. Quintero y M.R. Befani.2004. Dinámica de las fracciones de fósforo en el suelo en una pastura fertilizada. *Revista Científica Agropecuaria* 8:65-71.
- Bettoni Telles, A.P., M. Rodrigues y P.S. Pavinato. 2020. Solubility and Efficiency of Rock Phosphate Fertilizers Partially Acidulated with Zeolite and Pillared Clay as Additives. *Agronomy* 10(7): 918.
- Caradus, J. R. 1980. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 23(1):75-81.
- Fontes, M.P.F. y S.B. Weed. 1996. Phosphate adsorption by clays from Brazilian oxisols: relationship with specific surface area and mineralogy. *Geoderma* 72: 37-51.
- Goedert, W.J. 1983. Management of the Cerrado soil of Brazil: a review. *Journal of Soil Science* 34:405-428.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B. y S. Chahuan. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society American Journal* 46: 970-976.
- Hernández Valencia, I. 1996. Dinámica del fósforo en una sabana de *Trachypogon* de los Llanos Altos Centrales. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 183p.
- Hernández-Valencia, I. 2008. Evaluación de la fertilidad fosfórica en diferentes sistemas de producción ubicados en sabanas bien drenadas de Venezuela a través de técnicas de fraccionamiento. *Acta Biológica Venezolana* 28:57-68.
- Hernández-Valencia, I. y M. Bautis. 2005. Cambios en el contenido de fósforo en el suelo superficial por la conversión de sabanas en pinares. *Bioagro* 17(2):69-78.
- López, M., Alfonso, N., Florentino, A. y M. Pérez. 2006. Dinámica del fósforo y reducción del aluminio intercambiable en un ultisol sometido a manejo conservacionista. *Interciencia* 31: 293-299.
- López-Hernández, D. 1977. La química del fósforo en suelos ácidos. Ediciones de la Biblioteca Central UCV. Caracas. 123 p.
- López-Hernández, D., Araujo, Y., Hernández-Valencia, I., Hernández, C. y A.Y. López-Contreras. 2009. Pedofauna biodiversity and soil indicators in an amazonian sandy savanna soil long term amended with low inputs of in situ produced compost. En: Composting: Processes, Materials and Approaches. Pereira, J. C. & J. L. Bolin (eds.) Nova Publishers. Estados Unidos. Pp. 155-176.
- López Hernández, D. 2019. Sabanas del Orinoco: Producción Primaria y Biogeoquímica de los Elementos. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas. 259 p.
- Lozano, Z. 2007. Indicadores de calidad de la materia orgánica de un suelo bajo agricultura conservacionista. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 209 p.
- Lozano, P., Z. Hernández Hernández, R. M., Bravo, C., Rivero, C., Toro, M. y M. Delgado. 2012. Disponibilidad de fósforo en un suelo de sabanas bien drenadas bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia* 37(11):820-827.

- Matheus, R. 1986. Los suelos de la Estación Experimental La Iguana. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 199 p.
- Mitran, T., Meena, R.S., Lal, R., Layek, J., Kumar, S. y R. Datta. 2018. Role of Soil Phosphorus on Legume Production. En: Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds) Legumes for Soil Health and Sustainable Management. Springer, Singapore. Pp. 487-510.
- Nziguheba, G. y E.K. Bünenemann. 2004. Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems. En: Turner, B.L., Frossard, E. y Baldwin, D. (eds.) Organic Phosphorus In The Environment. CABI Publishing. Wallingford. USA. Pp 243-268.
- San José, J.J. y J. García Miragaya. 1981. Factores ecológicos operacionales en la producción de materia orgánica de las sabanas de *Trachypogon*. *Bol. Soc. Ven. Cienc. Nat.* 36(139):347-374.
- Tiessen, H. y O. Moir. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. En: Carter, M.R. (ed.) Soil sampling and methods of soil analysis. Lewis Publishers, Boca Ratón, Fl. pp. 75-86.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B. y C.V. Cole. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society American Journal* 48: 853-858.
- Vance, C.P. 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology* 127: 390-397.
- Vu, D.T., Tang, C. y R.D. Armstrong. 2008 Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil* 304: 21-33.