

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Pastoreo Racional Voisin, ruta agroecológica sustentable en suelos ácidos-arenosos de baja fertilidad natural

Voisin's Rational Grazing, as agroecological sustainable route for acid-sandy soils of low natural fertility

Alonso David Ojeda-Falcón^{1*} , Olgioy Domínguez-Quintero² 

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Centro de Ecología Aplicada, Laboratorio de Agroecología, AP 47058, Caracas, Venezuela, Teléfono: +58 416 6144451, CP 1041-A

² Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela Básica, Laboratorio de Investigación, AP 47058, Caracas, Venezuela, Teléfono: +58 426 5209542, CP 1041-A

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 26/02/20

Aceptado: 20/03/20

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Alonso David Ojeda-Falcón
alonso.ojeda@gmail.com

Olgioy Domínguez-Quintero
olydominguez@gmail.com



RESUMEN

Un sistema de Pastoreo Racional Voisin modificado, fue establecido el año 2013 en el estado Barinas, Venezuela, con el objetivo de estudiar una ruta agroecológica sustentable en suelos ácidos-arenosos. Una pastura de 27 ha con *Urochloa brizantha* y *Urochloa ruziziensis*, fue dividida en 64 potreros. Se establecieron cuatro tratamientos: emulsión asfáltica con dosis única de 1,5 Mg ha⁻¹; roca fosfórica con dosis única de 440 kg ha⁻¹; emulsión asfáltica más roca fosfórica, con las mismas dosis anteriores; y control, solo con Pastoreo Racional Voisin. Los muestreos periódicos de suelo y vegetación se realizaron en 16 parcelas experimentales seleccionadas al azar, con cuatro réplicas de campo/tratamiento. Los más altos rendimientos de las pasturas de materia seca (MS) en t ha⁻¹ año⁻¹ correspondieron a los tratamientos emulsión asfáltica (34-62) y emulsión asfáltica+roca fosfórica, (54-48) en comparación con el control (22-31) y la roca fosfórica (24-25), para los años 2015 y 2016, respectivamente. Esto permitió pasturas de mejor calidad, triplicar los rendimientos en pasto desde el primer año y aumentar la carga animal (UGM ha⁻¹) de 1,2 a 3,7 los años 2015-2016 a 4,3, el año 2017. La aplicación de una dosis única de emulsión asfáltica sirvió para acelerar los incrementos regulares en el tiempo. Las fracciones lábiles de P demostraron que el Pastoreo Racional Voisin indujo una alta fertilidad fosfórica que desplazó al fósforo como principal

factor limitante de la productividad primaria en estos suelos de baja fertilidad natural, ampliamente distribuidos en los ecosistemas de sabanas y en el Neotrópico.

Palabras claves: *Urochloa*, productividad primaria, emulsión asfáltica, fósforo lábil, roca fosfórica

ABSTRACT

An agroecological Voisin's Rational Grazing production system was established in 2013 in Barinas, Venezuela, with the aim of studying a sustainable agroecological route in acid-sandy soils. A pasture of 27 ha with *Urochloa brizantha* and *Urochloa ruziziensis* was divided in 64 paddocks. Four treatments were established: application of a single dose of 1.5 Mg ha⁻¹ asphaltic emulsion; single dose of 440 kg ha⁻¹ of phosphoric rock; asphaltic emulsion with phosphoric rock, with the same previous dose, and control, only with Voisin's Rational Grazing. Four replicates of each treatment were established in 16 randomly chosen paddocks in which periodic soil and vegetation samplings were carried out. The highest yields of dried matter in t ha⁻¹ yr⁻¹ of pasture corresponded to asphaltic emulsion (34-62) and asphaltic emulsion with phosphoric rock (54-48) in comparison to the control (22-31) and phosphoric rock (24-25) treatments, for years 2015 and 2016, respectively. This brought about better quality pastures, from the first year of the management the pasture yields tripled and an increase of the animal load from 1.2 to 3.7 LU ha⁻¹ between 2015 and 2016, and to 4.3 LU ha⁻¹ in 2017 was achieved. Applying a single dose of asphaltic emulsion aided to accelerate the regular increases with time. The labile fractions of P showed that Voisin's Rational Grazing induced a high phosphoric fertility which displaced phosphorous as the main limiting factor in primary productivity of these soils of low natural fertility, that are widely distributed in savannah ecosystems and the Neotropic.

Keywords: *Urochloa*, primary productivity, asphaltic emulsions, labile phosphorous, phosphoric rock

INTRODUCCIÓN

Una crítica temprana al carácter insostenible de la agricultura capitalista fue realizada por Marx en 1860, al relacionar la disminución de la fertilidad natural de los suelos; y valorar la reconsideración de Liebig, sobre el agotamiento de los componentes elementales de los suelos al suprimir el ganado (Foster, 2000). Un análisis muy detallado y bien documentado ofrece este autor, citando las contribuciones de Marx, en las que advirtió la dirección opuesta de la agricultura capitalista y la agricultura racional, la fractura del metabolismo en la naturaleza y en el modo de producción social capitalista, al esquilmar simultáneamente las fuentes originales de toda riqueza: los suelos y los trabajadores; así como la contradicción intrínseca bajo el capitalismo, de la industria y la agricultura a gran escala; subrayando, la importancia de una estrategia socialista para

solucionar estas fracturas mediante una producción sostenible en una futura sociedad (Saito, 2017) o civilización ecológica.

Un debate reciente distingue entre los conceptos: Antropoceno y Capitaloceno, en tanto y en cuanto, la superficie toda del planeta ha sido marcada por la huella del modo capitalista de producción en los últimos 200 años y que es precisamente la lógica de este la que necesita ser analizada (Saito, 2017), rechazando el entendimiento ahistórico de la relación humanidad-naturaleza contenido en la narrativa del Antropoceno (Moore, 2015). Durante estas dos últimas centurias, la producción intensiva de alimentos en el mundo, se incrementó sobre la base del mejoramiento genético, al uso de insumos agroindustriales (fertilizantes solubles y agrotóxicos) y, la utilización intensiva de arados y rastras, en grandes extensiones de monocultivos en los suelos agrícolas del

planeta. Esta ruta de intensificación capitalista ha estado asociada a un amplio deterioro ambiental, local y global, a numerosos problemas de salud humana y a crecientes costos de producción y dependencia industrial, todo lo anterior, muy bien documentados en la literatura internacional especializada (Howard, 1943; Chaboussou, 2014; Lavelle, 2000). La respuesta diferenciada de los sistemas intensivos de agricultura industrial capitalista y agroecológicos de PRV, es que los primeros, ofrecen una respuesta rápida con efectos efímeros de fertilidad, alto impacto ambiental, ligados a una fuerte y onerosa dependencia agroindustrial; mientras que los segundos, ofrecen una respuesta paulatina, no dependiente, bajos costos de producción y sostenido incremento de la biofertilidad y los rendimientos que denominamos ruta agroecológica sustentable.

El Pastoreo Racional Voisin (PRV) es una tecnología agroecológica para la producción intensiva de alimentos limpios que tiene como base las leyes universales del pastoreo (Voisin, 1994) y el manejo integral agroecológico, sin uso de agrotóxicos, ni de fertilizantes solubles y sin agredir los suelos con pases de arado (Pinheiro-Machado, 2011). Las bondades del PRV y de la agricultura ecológica sobre la dependencia agroindustrial, el cambio climático, la biofertilidad, la agrobiodiversidad, la biocenosis de los suelos, la economía del agua, los costos de producción y los rendimientos sostenidos durante todo el año, también han sido ampliamente documentadas y exitosamente establecidas en más de 200 000 ha en América Latina y El Caribe (Pinheiro-Machado y Pinheiro-Machado, 2014).

En este trabajo se implantó un sistema de PRV modificado al aplicar dosis únicas de emulsión asfáltica y roca fosfórica como enmiendas mejoradoras de la fertilidad. La emulsión asfáltica, son de bajo costo en países productores de petróleo y constituyen un subproducto industrial abundante en los pozos petroleros. Estos sólidos son dispersos en agua mediante el uso de surfactantes aniónicos o catiónicos que permiten generar emulsiones asfálticas estables; contienen 60 % de agua, lo que le otorga importantes ventajas para su

aplicación en frío, sin ningún proceso térmico previo que genere emisiones de sustancias volátiles a la atmósfera y pueden usarse en amplias extensiones agrícolas, por la facilidad para su aplicación en campo con equipos de aspersión manual o mecanizados. Su aplicación a los suelos no se estima necesaria en forma recurrente, solo la aplicación para activar la biocenosis de los suelos, con dosis única menor a 0,08 % para una capa de suelo de 20 cm de profundidad (Ojeda-Falcón *et al.*, 2016).

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar una ruta agroecológica sustentable en suelos ácidos-arenosos de baja fertilidad natural, determinando el efecto de la emulsión asfáltica (EA) y la roca fosfórica (RF) en dosis únicas, aplicadas al inicio del fomento del PRV, como aceleradores de los cambios de la producción primaria en materia seca, (MS) en un suelo de baja fertilidad fosfórica, principal factor limitante de la productividad primaria y secundaria en los ecosistemas tropicales que tienen una amplia distribución geográfica en el Neotrópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La unidad de producción El Curay, dedicada a la producción de leche de ganadería bufalina, mestizos Murrah y Mediterráneo, está ubicada en el municipio Barinas, estado Barinas, en la confluencia de los ríos Santo Domingo y Calderas, bajo las coordenadas UTM: E 356857 y N 963618, al este de la población de Quebrada Seca. La terraza El Curay, constituye un paisaje singular debido a la intensa erosión fluvial que configuró desniveles de hasta 200 m entre los cauces actuales y el plano de las acumulaciones de sedimentos aluviales, pedregosos, de carácter torrencial, pertenecientes al Cuaternario Inferior (Ruiz-Tirado, 2000).

La clasificación del clima por Köppen, corresponde a bosque tropical lluvioso monzónico (Amw'gi); subtipo, selva tropical lluvioso, caracterizado por la presencia de una estación seca de corta duración e isothermas anuales de 24 y 26 °C. El registro de precipitación promedio mensual y anual de la estación meteorológica de Quebrada Seca

(1950-1998) mostró que el 93,4 % de las lluvias total anual (2 100 mm) se concentran de abril a noviembre y solo el 6,6 % se produce entre diciembre y marzo.

El suelo fue identificado como Typic Kanhaplustult (Soil Survey Staff, 2015) con textura franco-arcillo-arenosa en los primeros centímetros de profundidad y acumulación de arcilla, principalmente caolinita, por eluviación en los horizontes sub-superficiales, lo que determina una lenta permeabilidad en el perfil. Caracterizado por un pH moderadamente ácido (5,6) una moderada densidad de carga coloidal dependiente del pH (-1,3) y muy bajos contenido de fósforo total ($271,5 \mu\text{g g}^{-1}$).

Se utilizó una emulsión asfáltica tipo aceite en agua, compuesta de hidrocarburos aromáticos con cadenas laterales parafínicas en grado variable. Las emulsiones asfálticas son sustancias policíclicas de alto peso molecular (>5000), aglomeradas en forma de partículas sólidas que se asemejan a los ácidos húmicos en sus altos contenidos aromáticos (Ojeda-Falcón *et al.*, 2016).

La carga animal instantánea evolucionó permanentemente durante el periodo experimental, partiendo de $1,2 \text{ UGM ha}^{-1}$ al inicio del PRV. La Figura 1, muestra la distribución en campo de los cuatro tratamientos experimentales e igual número de réplicas de campo, en parcelas experimentales de $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, distribuidas al azar en 16 potreros de producción de $60 \text{ m} \times 60 \text{ m}$. Los tratamientos con EA y RF, solo recibieron una dosis única el 14 de febrero de 2015. Los tratamientos: EA, RF, EA+RF y control, corresponden a: $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de emulsión asfáltica catiónica, diluida 1:6 partes de agua; 440 kg ha^{-1} de roca fosfórica Riecito; la aplicación conjunta de emulsión asfáltica y roca fosfórica con dosis similares a las anteriores; y el control experimental de PRV, sin enmiendas, respectivamente.

Los muestreos de suelo y vegetación, se realizaron en los periodos de mínima y máxima precipitación en tres puntos aleatorios, de un universo de 81 puntos posibles, en cada una de las parcelas experimentales. En cada punto de



Los números identifican la distribución de los tratamientos/potreros

Figura 1. Imagen satelital de Google Earth mostrando los tratamientos experimentales: EA, RF, EA+RF y control

muestreo se utilizó un marco metálico de 1 m² que permitió cortar el pasto a ras del suelo y pesar todo el forraje. Una sub-muestra, se pesó nuevamente, se colocó en una bolsa de papel previamente identificada y se llevó a 60 °C en la estufa, para obtener el peso seco y expresar el rendimiento en kg de MS. De esta forma se obtuvieron resultados promedios de tres sub-muestras por parcela experimental y un total de 12 sub-muestras/tratamiento. La estimación de la producción total para los periodos de mínimas y máximas precipitaciones, se obtuvo al multiplicar los rendimientos en MS (kg ha⁻¹) por 5 y 7 meses, respectivamente. La composición botánica de la vegetación se realizó mediante la identificación taxonómica de las especies a partir de muestras botánicas de cada nombre nativo registrado en el inventario y su posterior identificación en el Herbario Nacional de Venezuela. La determinación de las fracciones lábiles de P inorgánico: P-agua, P-resina y P-inorgánico soluble en bicarbonato de sodio a pH 8,5 (Pi-NaHCO₃) se realizó mediante un procedimiento de extracción secuencial de P tipo-Hedley *et al.*, en seis réplicas de suelo de 0-3 cm de profundidad/tratamiento. Los resultados fueron tratados estadísticamente sobre la base de un ANOVA de una vía entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de

diferencia mínima significativa (DMS $p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del PRV sobre la capacidad de carga animal

La Figura 2a, muestra el manejo previo de la unidad de producción, con pocos potreros de 3-4 ha de tamaño, una coloración uniforme de las pasturas, relacionado a un mal manejo del tiempo de reposo de las pasturas, y como consecuencia, se mantenían 32 búfalas en ordeño, con una producción de 38,5 L/día de leche para la elaboración de 7 kg de queso/día, y una muy baja carga animal de 1,2 UGM ha⁻¹. Por el contrario, la Figura 2b, muestra los cambios de división del área de 27 ha, en 64 potreros de 3 600 m² cada uno, en comparación con la situación original de la unidad de producción.

La tecnología agroecológica de PRV, indujo el efecto ajedrez que representa un índice de pasturas bien manejadas con diferentes tiempos de reposo, desde los potreros recién pastoreados con coloraciones pálidas, hasta los potreros que reúnen las condiciones para su pastoreo de color verde oscuro que corresponde al pasto en su punto óptimo de reposo. Esto permitió una producción solo a pastoreo de 143 L/día de leche, para la



22 de noviembre de 2013

Diseño de rueda de carreta, con un número reducido de potreros (10-12); efectos de pastoreo continuo y coloración uniforme de los pastos.

5 de enero de 2015

14 meses después, con PRV en 64 potreros, se aprecia el efecto ajedrez y pasturas en su punto óptimo de reposo.

Figura 2. Imágenes contrastantes de Google Earth de la unidad de producción El Curay

elaboración de 26 kg de queso/día, con 32 búfalas en ordeño y una capacidad de carga animal de 3,7 UGM ha⁻¹ los años 2015-2016 y de 4,3 durante el año 2017.

Efecto de la EA y la RF sobre los rendimientos de las pasturas

La Tabla 1 muestra los rendimientos promedios en MS (kg ha⁻¹ y kg ha⁻¹ año⁻¹) para los tratamientos: EA, RF, EA+RF y control, durante el año 2015 (en periodos de mínimas y máximas precipitaciones) y el año 2016, solo el periodo de máximas precipitaciones. Para ambos años, durante estos periodos, los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos EA y EA+RF. Los rendimientos para el período de mínimas precipitaciones, resultaron bajos en comparación con otros resultados de la literatura que incluyeron

aplicaciones de fertilizantes solubles, riego y herbicidas (Tablas 1 y 2). Los incrementos más altos entre los años 2015 y 2016 (kg ha⁻¹ año⁻¹) correspondieron a los tratamientos orgánicos: control y EA, con 28,7 % y 44,2 % respectivamente; mientras que RF mostró un pequeño incremento de 3,9 % y EA+RF, un decrecimiento de -11,3 % durante el 2016.

La Tabla 2 muestra los rendimientos en MS kg ha⁻¹ para ambos pastos, en periodos con mínimas y máximas precipitaciones. Los rendimientos más altos y más bajos correspondieron a los tratamientos EA y RF, respectivamente, en ambos periodos de precipitaciones; mientras que los tratamientos control y EA+RF, mostraron rendimientos dentro del rango promedio internacional, con excepción del control, para el periodo de mínimas precipitaciones que resultó muy bajo.

Tabla 1. Rendimientos promedios de MS bajo un sistema agroecológico de PRV, Barinas, Venezuela

Tratamientos	Periodos de precipitaciones			2015	2016	Δ
	mínimas	máximas	máximas			
	2015		2016			
	kg ha ⁻¹					
EA	1 615 a (±136)	3 788b (±850)	7 699 a (±1 904)	34 591	61 968	44,2
RF	234 c (±124)	3 303 c (±1,041)	3 446 b (±542)	24 291	25 292	3,9
EA+RF	1 542 a (±399)	6 682 a (±1 176)	5 805 ab (±2 035)	54 484	48 345	-11,3
Control	825 b (±397)	2 630 c (±936)	3 927 b (±745)	22 535	31 614	28,7
<i>U. brizantha</i>	1 700-3 755		7 000	Lascano <i>et al.</i> , 2002, en suelos ácidos, fertilizados con NPK		

Nota: EA y RF, corresponden a: emulsión asfáltica y roca fosfórica, respectivamente. Letras distintas denotan DMS (p<0,05) Valores entre paréntesis indican la desviación estándar (N=12)

Tabla 2. Estimación de MS de las pasturas (*U. brizantha* - *U. ruziziensis*) en PRV en periodos con mínimas y máximas precipitaciones

Tratamientos	Periodos de precipitaciones	
	mínima	máxima
	kg ha ⁻¹	
EA	8 075	53 893
RF	1 170	24 122
EA+RF	7 710	40 635
Control	4 125	27 489
<i>U. ruziziensis</i> , manejo intensivos con altos insumos agroindustriales (INIAP, 1991)	7 023-8 704	25 711-38 235

En cuanto al tratamiento control, el incremento anual de $9,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ lo atribuimos al manejo agroecológico de las pasturas que indujo una mayor biocenosis en los suelos, en su primera etapa de desintoxicación y rehabilitación de las propiedades de biofertilidad. La diferencia entre los tratamientos EA y control, se relaciona principalmente al efecto de la EA sobre las propiedades físicas de la capa más superficial del suelo, al acelerar los cambios de la biofertilidad. Ambos resultados están asociados a las bondades del sistema de manejo agroecológico de PRV (Figura 3) al inducir el ingreso orgánico de bosta y orina al suelo, estimado en al menos $70 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Pinheiro-Machado, 2011) y estimular con ello, los procesos biológicos, bioquímicos y microbiológicos que activaron los numerosos mecanismos de biofertilidad de los suelos descritos por Lavelle (2000).

Las capacidades naturales para activar la biocenosis de los suelos han sido destacadas por distintos autores. Ojeda-Falcón *et al.*

(2009) registraron un ingreso anual de 3,8 % de carbono total en un sistema de acumulación y transformación de la materia orgánica, como las Majadas, descritas por López-Hernández y Ojeda-Falcón (1996). Ojeda-Falcón (2015), al evaluar un sistema de 18 años de PRV, al sur de la provincia de Santa Fé, Argentina, determinó un valor promedio de 3,7 % de carbono orgánico, y un incremento de 2,2 % en dicho lapso, respecto al valor previo, al fomento agroecológico de las pasturas naturales.

Pero estos activos naturales de carbono y su biocenosis, pueden ser rápidamente degradados, debido a las prácticas de agresión a los suelos por medio de rastras y arados que continúan teniendo el más amplio uso en los suelos agrícolas del planeta, lo que causa un alto impacto en los ecosistemas al inducir un ciclo continuado de dependencia de fertilizantes solubles, generar altos costos de producción y una muy baja respuesta de los rendimientos.

En este trabajo, un año después, los tratamientos control y fuente orgánica de EA,



Figura 3. Bondades de la tecnología agroecológica de PRV con dosis única de emulsión asfáltica (Ojeda-Falcón *et al.*, 2016).

sin uso de rastra, NPK, ni agrotóxicos, mostraron altos y sostenidos incrementos de los rendimientos. Estos resultados corroboran la importancia del concepto de dosis única que no pretende sustituir unos insumos (NPK y herbicidas) por otros (RF y EA), sino lograr una producción sostenida, con incrementos regulares en el tiempo, sin agresiones a la estructura y a la vida de estos suelos. Los incrementos sostenidos de los rendimientos otorgaron una mayor capacidad de carga animal de estas pasturas (4,3 UGM ha⁻¹, el año 2017) y un excedente de forraje para la conservación de pastos durante el período de menores precipitaciones que permitieron mantener una alta y sostenida producción en el año, no dependiente de los insumos agroindustriales, a muy bajos costos de producción y con una clara evolución de rentabilidad de la unidad de producción.

Calidad de las pasturas

U. ruziziensis y *U. brizantha* cv Toledo, presentaron un predominio del 73,2 % y 24,1 % respectivamente, como pastos introducidos en la unidad de producción. La calidad de los potreros de acuerdo con la cobertura de

leguminosas y malezas en los distintos tratamientos se muestra en la Figura 4. Según Iturbide (1981) la presencia de las leguminosas en un sistema forrajero determina la calidad de las pasturas, porque constituye una fuente muy importante de proteínas digestibles en la dieta de los rumiantes.

La familia Fabaceae con seis especies, representó una de las familias con mayor número de representantes de la comunidad del estrato herbáceo. La Figura 4 muestra la cobertura (%) de las leguminosas para el control, con un claro y sostenido incremento durante las fechas de evaluación, presentando el valor más alto de 5,6 % en el periodo de máximas precipitaciones el año 2016, en comparación con el resto de los tratamientos. *Desmodium tortuosum*, fue la leguminosa forrajera nativa más frecuente y abundante en ese tratamiento.

El segundo valor más alto (5,1 %) correspondió al tratamiento con EA durante el periodo de máxima precipitación en el 2015. *Desmodium incanum*, leguminosa forrajera nativa, resultó ser la más frecuente y abundante en este tratamiento. Estos resultados se asociaron a los tratamientos orgánicos y a las

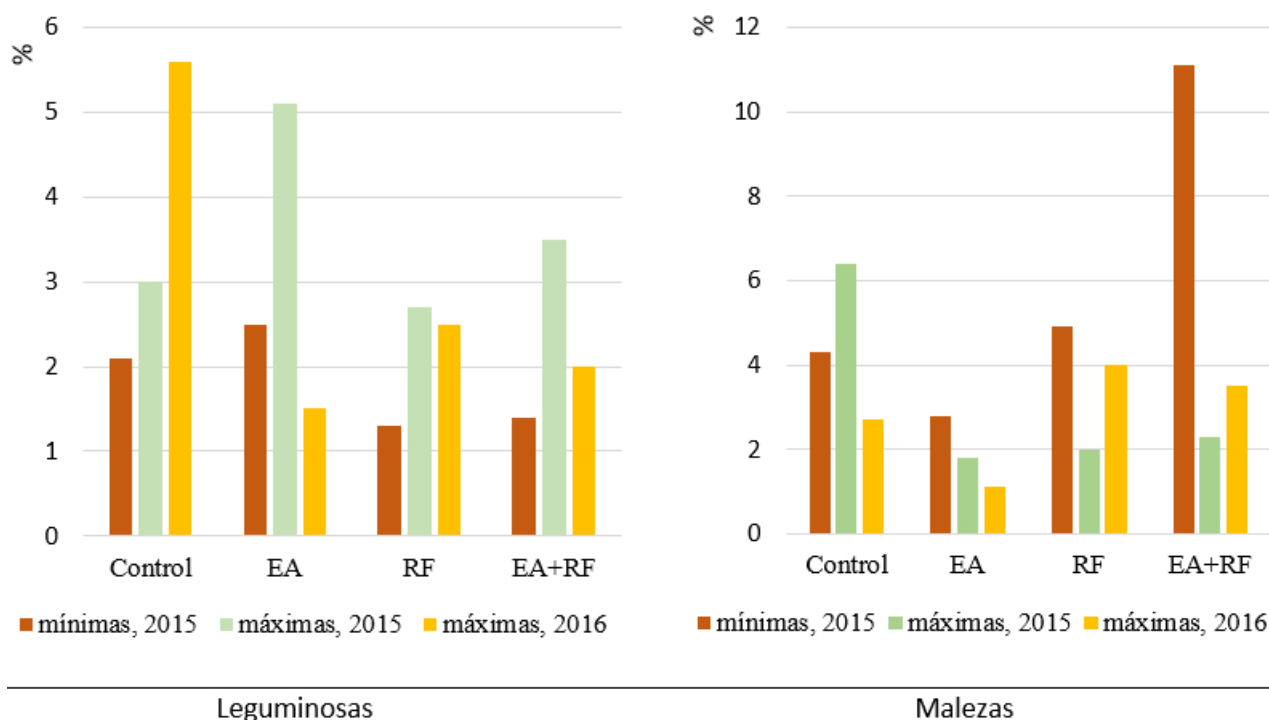


Figura 4. Cobertura de leguminosas y malezas, en un sistema agroecológico de PRV con dosis única de EA y RF

formas lábiles de P, con una mayor cobertura de leguminosas en comparación con los tratamientos con fuentes inorgánicas de P (RF) que mostraron menor cobertura de leguminosas en el periodo de mínima precipitación ese año. Sin embargo, un incremento en la cobertura de las leguminosas, durante el periodo lluvioso fue observado en los tratamientos EA y EA+RF, en contraste con los tratamientos control y RF.

Dentro de las leguminosas, el género *Desmodium* fue el de mayor frecuencia y abundancia. Este género incluye numerosas especies forrajeras nativas, adaptadas a diferentes condiciones de suelos y climas, resistentes a las sequías, con importantes rendimientos de MS (estimados en 6,5 t ha⁻¹ año⁻¹) y alrededor de 15 % de proteína cruda. Además, incorporan N por medio de la simbiosis mutualista con los *Rhizobios* (Pinheiro-Machado, 2011), lo cual es relevante en suelos ácidos-arenosos de baja fertilidad natural.

La reducción de los porcentajes de leguminosas en el año 2016 para los tratamientos EA, RF y EA+RF, se atribuye fundamentalmente al incremento en la cobertura del porcentaje de pasto (79,3 %). Menéndez *et al.* (1993) encontraron una disminución de las leguminosas en la época lluviosa, al tercer año de evaluación y lo atribuyeron, entre otras causas, al mayor consumo de leguminosas en la época poco lluviosa, debido al sub-pastoreo de las gramíneas y al sobrepastoreo de las leguminosas. Pinheiro-Machado (2011) advierte que la desigual velocidad de crecimiento entre leguminosas (C3) y gramíneas (C4) tropicales, es la causa que hace inviable su asociación a largo plazo como estrategia de establecimiento. Sin embargo, un mayor consumo de las leguminosas podría estar relacionado, a un tiempo más prolongado del punto óptimo de reposo en las plantas C3 respecto a las C4, debido a que las leguminosas tienen menor pared celular y tenor de lignina.

El control de las malezas se realizó mediante el corte periódico, inmediatamente después que los potreros fueron desocupados para iniciar

un nuevo periodo de reposo. Las malezas presentaron una cobertura que varió entre 1,1-11,1 %. La mayor presencia de malezas se encontró, al principio del ensayo, en los tratamientos EA, RF y EA+RF (Figura 4); en contraste, para el periodo de precipitación máxima-2015, los menores porcentajes de malezas (1,8 %, 2,0 % y 2,3 %) se hallaron en estos mismos tratamientos respectivamente, con excepción del control. La cobertura de malezas disminuyó durante todo el período de evaluación en EA. En general, los tratamientos orgánicos, con excepción del control para el periodo de máximas precipitaciones 2015, mostraron una tendencia sucesiva de reducción de la cobertura de malezas; en comparación con los tratamientos asociados a una fuente inorgánica de P que presentaron mayor cobertura de malezas para el periodo de máximas precipitaciones el 2016.

Efecto de la EA y la RF sobre las fracciones lábiles de P

La Figura 5 muestra la distribución espacial de las iso-concentraciones de las fracciones lábiles de P: P-agua, P-resina y Pi-NaHCO₃. Como era de esperar, los valores significativamente más altos de P, estuvieron asociados al efecto de la RF en estas fracciones que corresponden a los tratamientos establecidos en los potreros 14, 17, 35 y 55; en contraste con los tratamientos control y EA, en los potreros: 10, 24; y 34, 38; respectivamente que presentaron valores menores de las fracciones lábiles de P.

Los contenidos de fósforo resultaron mayores en el siguiente orden: P-resina > Pi-NaHCO₃ > P-agua. El P-agua, aun cuando representó la fracción con menor contribución del conjunto de las fracciones lábiles de P, entre 6,3 % y 10 % en los tratamientos con fuentes inorgánicas y orgánicas de P, respectivamente; cumple un rol en la activación de los procesos bioquímicos y microbiológicos que en estos sistemas agroecológicos de PRV alcanza su mayor estabilidad, debido al fomento permanente de neo-estructuras persistentes que se preservan al suprimir el uso de rastras y arados; en contraste con los sistemas de agricultura convencional

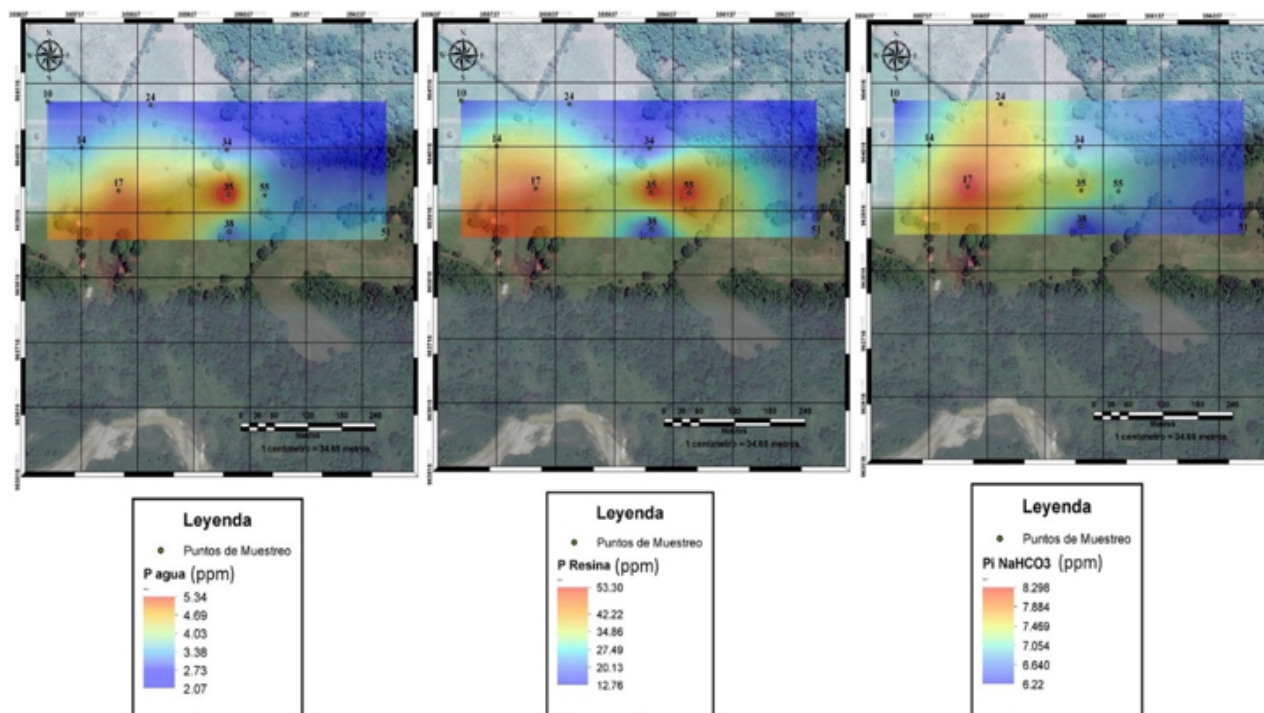


Figura 5. Concentraciones de las fracciones lábiles de P: P-agua, P-resina y Pi-NaHCO₃, dos años después de iniciado el manejo de las pasturas a través del sistema agroecológico de PRV

que promueven su continua destrucción e inducen al ciclo continuado de dependencia de los fertilizantes solubles.

La fracción de P-resina, representó la de mayor contribución entre las fracciones lábiles, significativamente mayor en los tratamientos con fuentes de RF (80 %). Sin embargo, valores de P entre 12-16 $\mu\text{g g}^{-1}$ en los tratamientos EA y control, resultaron altos comparativamente con otros registros de la literatura para suelos ácidos con pasturas naturales (López-Hernández *et al.*, 1981); lo que se atribuye a una intensa mineralización del P en la capa más superficial del suelo que recibió continuamente significativos aportes de bosta y orina de los semovientes y al entramado de raíces, cuyas rizósferas representan vastos y variados mecanismos de transformación (Lavelle, 2000) de las formas orgánicas de P.

La fracción de Pi-NaHCO₃, también fue afectada por los tratamientos, en un orden de magnitud menor y valores de P similares para suelos ácidos. Sin embargo, representaron alrededor de un 30 % de la suma de las fracciones lábiles de P en los tratamientos control y EA, en contraste con un 12 % en los

tratamientos con RF. Ojeda-Falcón (1995) al comparar suelos de un área en barbecho con distintos sistemas de labranza, registró un incremento del 12 % en esta fracción; y lo relacionó con la acumulación paulatina de materia orgánica en el barbecho, asociado a un patrón de acumulación de Pi-NaHCO₃ que pudiera representar una alternativa de manejo de la fertilidad fosfórica. Esta observación fue corroborada en este sistema agroecológico de PRV, al constatar que la suma de las fracciones lábiles de P (Pagua+Presina+Pi-NaHCO₃) en el tratamiento control, arrojó un valor de 25,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ que de acuerdo al criterio de Olsen, corresponde al rango alto de fertilidad fosfórica (20,1-30,0 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Los resultados demuestran que el PRV provee una alta fertilidad fosfórica; y que la EA, no modificó significativamente los contenidos de P de las fracciones lábiles en la capa superficial (0-3 cm), desplazando al fósforo como principal factor limitante de la productividad primaria en los suelos ácidos, bajo las condiciones de manejo de este trabajo. Por el contrario, la RF arrojó una sumatoria de las fracciones lábiles de P de 55,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ que

pudo limitar los rendimientos particularmente durante el periodo de bajas precipitaciones (Tabla 1). Por contraste, la diferencia de los rendimientos entre los tratamientos control y EA parece asociada a otro factor limitante de la productividad primaria ajeno a la fertilidad fosfórica; probablemente relacionado a los efectos físicos que inducen la EA sobre la formación de neo-estructuras persistentes, mayor retención de humedad y el desencadenamiento de procesos de biofertilidad que indujo a su vez el alto rendimiento promedio en MS de más de 60 t ha⁻¹ año⁻¹, por encima de los promedios internacionales registrados por INIAP (1991) y Lascano *et al.* (2002), utilizando dosis de fertilizantes soluble de NPK, rastra y agrotóxicos.

En síntesis, el Pastoreo Racional Voisin modificado con dosis única de EA constituye una ruta agroecológica, segura y viable, para una amplia frontera agrícola de los suelos ácidos-arenosos en la región del Trópico. Esta tecnología agroecológica emerge en la perspectiva de una civilización ecológica, confrontando el predominio del agronegocio, para garantizar la soberanía agroalimentaria sobre otra base económica que supere la fractura del metabolismo en la naturaleza y del modo de producción capitalista, como lo predijo Marx hace más de 150 años, al advertir el carácter opuesto entre la agricultura racional y la agricultura capitalista.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la tecnología agroecológica de PRV, logró incrementos sostenidos de la producción de pastos y de la carga animal desde el primer año de su fomento, sin uso de fertilizantes solubles del tipo NPK, suprimiendo los pases de rastra, de arado y las aplicaciones de agrotóxicos, lo que permitió romper la dependencia de los insumos agroindustriales, reducir los costos de producción y tributar un ahorro significativo de divisas, todo lo cual tiene importancia para las naciones de economías dependiente. Adicionalmente, el PRV promovió una alta

fertilidad fosfórica, un cambio de la estructura de la comunidad herbácea que favoreció la presencia de leguminosas y una alta cobertura de las pasturas.

Por primera vez se demuestra que la aplicación de EA sirvió para acelerar los cambios de biofertilidad en las pasturas, particularmente en los suelos ácidos-arenosos de baja fertilidad natural, al producir altos rendimientos en MS en un corto plazo, bajo el concepto de dosis única de EA que permitió una producción sostenida, con incrementos regulares en el tiempo, asociada a una mejor calidad de la oferta forrajera, con mayor cobertura de leguminosas y menor porcentaje de malezas que mejoró la ingesta proteica e indujo una mayor producción de leche. Adicionalmente, la EA al no modificar los contenidos de P de las fracciones lábiles en la capa superficial en estos suelos, desplazó al fósforo como principal factor limitante de la productividad primaria en los suelos ácidos, bajo las condiciones de manejo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al FONACIT el financiamiento del proyecto de investigación de área estratégica N° 2011000447; a la Academia de Ciencia Agrícola, al INIA-Barinas, especialmente a la Ing. Francelina Molina y a la investigadora María Lugo, por su participación en los muestreos de campo, la identificación botánica de las especies y la determinación de los rendimientos en base a materia seca; así como al profesor Víctor Hugo Aguilar (UCV) por su asesoría en el tratamiento estadístico de los datos.

CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Alonso David Ojeda-Falcón: conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Interpretó los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito. Fue responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación. Además, diseñó la investigación, evaluó y

recopiló los datos obtenidos en las pruebas de los experimentos, gestionó, coordinó, planificó y ejecutó las actividades de investigación. Fue responsable de proveer materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación, supervisar, liderar la planificación y ejecutar las actividades de investigación, incluida la tutoría al equipo responsable de tomar los datos experimentales. Además, es responsable de validar y verificar la replicación general de los experimentos y otros resultados obtenidos, así como de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador, incluida la rectificación de los señalamientos realizados, por los árbitros y Consejo Editorial.

Olgioy Domínguez-Quintero: hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo. Es responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación, proveyó los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación, tuvo la responsabilidad de supervisar, liderar la planificación y ejecutar las actividades de investigación (incluida la tutoría al equipo responsable de tomar los datos experimentales), contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

BIBLIOGRAFÍA

CHABOUSSOU, F. 2014. La teoría de la trofobiosis. Nuevos caminos para una agricultura sana. p. 31. http://www.altaalegremia.com.ar/contenidos/teoria_de_la-trofobiosis.html.

FOSTER, J. B. 2000. La ecología de Marx, materialismo y naturaleza. Ediciones de Intervención Cultural, El Viejo Topo, España, p. 448, ISBN: 84-95776-92-8. En sitio web: <https://radiozapatistasud.files.wordpress.com/2011/11/bellamy-foster-john-la-ecologc3ada-de-marx.pdf>.

HOWARD, A. 1943. An agricultural testament. Oxford University Press, New York, XVII, 253 p. En sitio web: http://www.zetataalk3.com/docs/Agriculture/An_Agricultural_Testament_1943.pdf.

www.zetataalk3.com/docs/Agriculture/An_Agricultural_Testament_1943.pdf.

INIAP (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS). 1991. Informes técnico anuales 1984-1992. Programa de ganadería bovina y pastos estación experimental Napo-Payamino. Quito, Ecuador. En sitio web: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2432>.

ITURBIDE, A.M. 1981. Rol de las leguminosas en las praderas. En: Producción y utilización de forrajes en el trópico. Compendio, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Serie Materiales de enseñanza N° 10, p. 103-127. En sitio web: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A7833e/A7833e.pdf>.

LASCANO, C., PÉREZ, R., PLAZAS, C., *et al.* 2002. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana. CIAT, Colombia, DOI: 10.13140/2.1.3614.5927.

LAVELLE, P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Science*, 165 (1): 73-86, ISSN 0038-075X. En sitio web: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_55-56/010021664.pdf.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. y OJEDA-FALCÓN, A.D. 1996. Alternativas en el Manejo Agroecológico de los Suelos de las Sabanas del Norte de Suramérica. *Ecotropicos*, 9 (2): 101-117. En sitio web: <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/ecotropicos/article/view/10282/10222>.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., CORONEL, I. y ALVAREZ, L. 1981. Uso de la isoterma de adsorción para evaluar requerimientos de fósforo. I. Isotermas de adsorción de los suelos. *Turrialba*, 31 (3): 169-180. En sitio web: <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/TLBA/issue/viewIssue/733/852>.

MENÉNDEZ, J., VEGA, S. y TANG, M. 1993.

- Comportamiento de leguminosas tropicales asociadas a *Andropogon gayanus* comparadas con cinco gramíneas sometidas a pastoreo y bajos niveles de fertilización. I. Suelo Ferralítico Rojo. *Pastos y Forrajes*, 16 (1): 1-11. En sitio web: <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1212&path%5B%5D=714>.
- MOORE, J. W. 2015. Capitalism in the Web of Life: Ecology and the Accumulation of Capital. New York. En sitio web: <https://static1.squarespace.com/static/53c91652e4b09f1cf07c75bc/t/57286b5f9f72666b6cec29d7/1462266731162/Moore>.
- OJEDA-FALCÓN, A.D. 1995. Transformación del Fósforo Orgánico en un Ultisol de Sabana Sometido a Distintas Alternativas de Manejo Agroecológico. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela.
- OJEDA-FALCÓN, A.D. 2015. La intensificación de la agricultura y el modelo eco-productivo socialista en Venezuela. Tiempos para pensar Investigación social y humanística hoy en Venezuela. Tomo I ,Compiladora Alba Carosio, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), Fundación Centro de Estudios Latinoamericanos Rómulo Gallegos, Caracas, Venezuela, Pp. 385-394. En sitio web: http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20151211124235/Tiempos_para_pensar_TOMO1.pdf.
- OJEDA-FALCÓN, A.D., DOMINGUEZ-QUINTERO, O., PINHEIRO-MACHADO, L.C, *et al.* 2016. Agroecological production system: Voisin's rational grazing modified with a unique dose of asphaltic emulsion. En: Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., de los Santos Villalobos, S. (Eds.). *Biotechnology Summit*, 3rd, Cinvestav, Ciudad Obregón, Sonora, México. p. 560. Sitio web: https://www.itson.mx/eventos/biotechnologysummit/Documents/041116_MemoryBS16.pdf.
- OJEDA-FALCÓN, A.D., STEIN, M. y LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. 2009. Secuestro de carbono orgánico y cambios de fertilidad en un ultisol de sabanas en la Amazonía venezolana. *Bioagro*, 21 (3): 195-202. En sitio web: [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev21\(3\)/7.%20Secuestro%20de%20carbono%20orgánico.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev21(3)/7.%20Secuestro%20de%20carbono%20orgánico.pdf).
- PINHEIRO-MACHADO, L.C., PINHEIRO-MACHADO, L.C. 2014. A Dialética da Agroecologia. Contribuição para um mundo com alimentos sem veneno. Editora Expressão Popular, São Paulo. ISBN: 950-504-632-4.
- PINHEIRO-MACHADO, L.C. 2011. Pastoreo Racional Voisin, Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio. Editorial Hemisferio Sur, 253 p. ISBN: 950-504-576-X.
- RUIZ-TIRADO, M. 2000. Tabaco y sociedad en Barinas siglo XVII. Universidad de Los Andes, Consejo de Publicaciones, 363 p.
- SAITO, K. 2017. Marx en el antropoceno: valor, fractura metabólica y el dualismo no-cartesiano. *Marxismo & Revolución*, p. 27. En sitio web: <https://fdocument.pub/document/y-el-dualismo-no-cartesiano1-cerca-del-metodo-de-marx-revelara-su-dualismo.html>.
- SOIL SURVEY STAFF. 2015. Illustrated guide to soil taxonomy, version 2. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska. En sitio web: <https://www.nrcs.usda.gov>.
- VOISIN, A. 1994. Productividad de la hierba. Hemisferio Sur, Buenos Aires, XXXIII, 515 p.