

SIEMBRA DIRECTA COMO ALTERNATIVA AGROECOLÓGICA PARA LA TRANSICIÓN HACIA LA SOSTENIBILIDAD DE LAS SABANAS

DIRECT AS AN AGROECOLOGICAL ALTERNATIVE FOR THE TRANSITION TO SUSTAINABILITY OF THE SAVANNAS.

Carlos Bravo¹, Z. Lozano², Rosa Mary Hernández-Hernández,¹, H. Cánchez¹, e I. González¹

¹Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos (IDECYT). Centro de Estudios Para el desarrollo Agroecológico Tropical (CEDAT). Laboratorio de Biogeoquímica de suelos. e-mail. g12brmec@gmail.com.

²Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis del proceso de conversión agroecológica en sistemas de manejo que se vienen desarrollando en condiciones de sabana, mediante la evaluación de distintos parámetros relacionados con la calidad del suelo. Se plantea la siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. Los resultados de la evaluación de la condición agroecológica de las distintas alternativas desarrolladas para la zona a través de distintos indicadores de sostenibilidad y usando la siembra directa como eje principal, indican que estamos en un segundo nivel de las cuatro etapas de conversión. La siembra directa propuesta como alternativa de manejo agroecológico para la siembra de maíz sin labranza; produjo un mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo entre las que destacan la disminución de la densidad aparente, aumento de la porosidad, aumento del contenido de carbono orgánico y fósforo en todos los tratamientos con relación al Barbecho natural, disminución del pH en el tratamiento con *Centrosema macrocarpum* y el aumento en *Brachiaria dictyoneura*, lo que afectó marcadamente los contenidos de nutrientes en el suelo, especialmente en presencia de *Centrosema macrocarpum*.

ABSTRACT

The objective of this research was to conduct an analysis of agroecological conversion process in the management of systems that are being developed in savannas, through parameters related to soil quality. Direct sowing is used as an agroecological alternative towards savannas sustainability. Assessment of the status of the different agroecological alternatives developed for the area and using direct sowing as a principal axis through various sustainability indicators, shows that we are in a second level of the four stages of the conversion process. Direct sowing as an alternative proposal for agroecological managements improved physical, chemical and biological soil properties: decrease in bulk density, increase of Organic Carbon, porosity and phosphorus content in all treatments in relation to Fallow, drop of pH in *Centrosema macrocarpum* treatment and increase of pH in *Brachiaria dictyoneura*, which markedly affected the content of nutrients in the soil, especially at *Centrosema macrocarpum* soil. Although some features of soil have maintained and others improved, it is necessary to increase the biodiversity within agroecosystems to reduce the dependence on external inputs and to advance to the next level of conversion.

Palabras Clave: Agroecología, siembra directa, sabanas, sostenibilidad

Keywords: direct sowing, agroecology, savannas, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la agricultura ha sido siempre de particular interés para la humanidad, desde las comunidades humanas que hace 10.000 años

establecieron los primeros cultivos e iniciaron asentamientos permanentes, hasta el siglo XXI, en que la globalización es cada vez mayor. Por tanto entender el funcionamiento de los sistemas agrícolas ha sido un objetivo prioritario para

nuestras sociedades (Gliessman, 2002). En este sentido, el interés para alcanzar dicho objetivo ha seguido diferentes vías o enfoques para entender los procesos que explican la estructura, funcionamiento y sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos. En base a ello, como punto prioritario se debe discutir los argumentos principales que sostienen la validez, importancia y pertinencia del enfoque agroecológico, no sólo para entender los procesos involucrados en la producción de alimentos, sino para proponer alternativas que conduzcan a que los sistemas alimentarios funcionen de manera sostenible (Altieri y Nicholls, 2007). Los conceptos claves, que sirven de guía para dicho análisis lo constituyen por un lado la agroecología, la cual se define como la aplicación de los conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de los sistemas alimentarios y por otro, la sostenibilidad. Dicha sostenibilidad ha sido definida como un enfoque integral y holístico hacia la producción de alimentos, fibras y forrajes que equilibra el bienestar ambiental, la equidad social, y la viabilidad económica entre todos los sectores de la sociedad, incluyendo a comunidades internacionales y a través de generaciones (Gliessman, 2006).

La Agroecología nos proporciona herramientas para determinar cual es el status actual de sostenibilidad de un ecosistema agrícola o agroecosistemas, cómo hacer la conversión de la producción de alimentos y fibras hacia la sostenibilidad y finalmente cómo mantener este status. Un fundamento básico de la agroecología es el concepto de ecosistemas, el cual es definido como un sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivos y su medio ambiente, delimitado por fronteras definidas arbitrariamente, en un tiempo y espacio que parece mantener un estado de equilibrio, pero la vez dinámico (Odum, 1984). Ahora bien, la extensión de este concepto a la agricultura implica considerar los sistemas agrícolas como agroecosistemas, es decir ir más allá del foco primario de atención de los sistemas de medición de los sistemas convencionales como rendimiento o retorno económico y como contraparte se puede visualizar un conjunto de interacciones biológicas, físicas, químicas, culturales complejas que

determinan los procesos y permiten obtener y sostener la producción de alimentos. Cuando se crea un agroecosistema a través de la manipulación humana y se produce la alteración de un ecosistema natural se generan cambios en su estructura y función y a su vez se ven afectadas algunas cualidades claves o propiedades, tales como: flujo de energía, reciclaje de nutrientes, los mecanismos de regulación de las poblaciones y el equilibrio dinámico (Gliessman, 2006).

En base a los cambios en las propiedades y la necesidad de convertir los sistemas convencionales en agroecosistemas sostenibles se han planteado varias etapas de evolución o transformación, que desde el punto de vista metodológico han servido de base para analizar los manejos conservacionistas desarrollados en condiciones de sabana.

En este contexto Gliessman (2006), plantea cuatro niveles para el proceso de conversión: Un nivel I, cuyo objetivo principal consiste en el uso eficiente de los insumos de manera de reducir su uso y el impacto ambiental. Entre las prácticas usadas en este nivel se proponen densidades óptimas de siembra, monitoreo de plagas, muestreo de suelo como base para los planes de fertilización, optimización de uso de fertilizantes, de riego y de las operaciones agrícolas. Si bien este tipo de esfuerzos reducen los impactos negativos de la agricultura convencional, no son suficientes para romper la dependencia de insumos externos.

El nivel II, plantea la sustitución de prácticas e insumos convencionales por alternativas sostenibles más amigables con el medio ambiente, como por ejemplo los cultivos de cobertura, cultivos fijadores de nitrógeno (leguminosas), control biológico, cambio a laboreo mínimo o siembra directa, entre otras. En este nivel, la estructura básica del agroecosistema no se altera grandemente, por lo que muchos de los problemas observados en la etapa anterior están presentes si solo se sustituyen insumos. En el caso de las sabanas podríamos señalar que estamos en este nivel ya que si bien hemos ido avanzado de un modelo convencional hacia un tipo de labranza conservacionista como la siembra directa, uso de coberturas de leguminosas y pastos, la producción de maíz como monocultivo todavía se sustenta en

la aplicación de altas dosis de fertilizantes debido a las características de baja fertilidad natural de estos suelos (Bravo y Col, 2004; Lozano y Col, 2010). El nivel III, consiste en el rediseño del agroecosistema basándose en los elementos claves de la ecología. En esta etapa se plantea el diseño del agroecosistema en su conjunto, eliminando de raíz los problemas de los niveles anteriores, se previene la aparición de plagas y enfermedades, se elimina la dependencia de insumos externos mediante diversificación del manejo y estructura del agroecosistema a través de la aplicación de distintas prácticas como: granjas integrales, rotaciones de cultivo y sistemas agrosilvopastoriles entre otras. Finalmente, el nivel IV, está relacionado con un cambio de ética y de valores, donde la educación del consumidor juega un rol muy importante lo cual implica una mayor sensibilización en relación a prácticas adecuadas y más benignas hacia el medio ambiente. La educación en el sentido de que el producto que se adquiere es el resultado de un proceso complejo que tiene impactos ambientales y socioeconómicos y la sostenibilidad como concepto tiene un enorme potencial para servir de enlace entre los productores y consumidores de alimentos.

En base a lo señalado, cualquier sistema de manejo agroecológico para los llanos centrales y en especial para los ecosistemas de sabanas debe considerar varios factores. Uno de ellos está relacionado con los componentes de los sistemas de manejo que se vienen desarrollando, caracterizados por ser un sistema mixto donde la ganadería y los cultivos agrícolas constituyen uno de los componentes principales y forman parte de la cultura de los productores de la zona (Bravo y col., 2004). Asociado a la actividad ganadera la principal limitante en las sabanas bien drenadas de los llanos venezolanos pareciera ser la escasez y baja calidad de las pasturas naturales, especialmente en la época de sequía (Chacón y col., 2004). Buena parte de la ganadería en la región se sustenta en el manejo de bovinos en esas pasturas, con cargas animales superiores a las recomendables, y que tienden a ser mayores en las fincas de pequeños y medianos productores, lo que fácilmente puede derivar en sobre pastoreo y pérdida permanente de la cobertura vegetal. Otro

elemento importante está relacionado con las características climáticas de la zona donde se tiene un período de lluvias que va desde mayo a noviembre y donde se produce gran cantidad de biomasa que no es aprovechada en muchos casos eficientemente para la alimentación de los animales y un período de sequía que oscila de diciembre hasta abril donde la producción de residuos es muy escasa o nula incidiendo notablemente en la producción animal. Otro factor a considerar está relacionado con las condiciones edáficas que en el caso de las sabanas se caracteriza por tener suelos ácidos, de baja fertilidad, con escaso contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, lo cual se traduce en baja disponibilidad de nutrientes y baja capacidad de retención de humedad, en gran parte el desarrollo de los cultivos (Hernández-Hernández y col., 2004b; Bravo y col., 2004).

La agricultura de conservación, en especial la siembra directa constituye un eje fundamental para el proceso de conversión agroecológica en las sabanas, la cual ha sido definida como un sistema de producción agrícola sostenible que comprende un conjunto de prácticas agronómicas adaptadas a las condiciones locales de cada región y a las exigencias del cultivo, cuyo propósito principal es el de evitar la erosión y degradación del suelo y mejorar la calidad y biodiversidad (Bravo, 2002). Todo ello conduce finalmente al buen uso de los recursos naturales y permiten integrar los elementos metodológicos de la agroecología, tal como se muestra en la Figura 1. Para que un cambio de labranza convencional hacia sistemas conservacionistas como la siembra directa se convierta en una herramienta de sostenibilidad para los suelos de sabana, se sugiere que deben considerarse aspectos ambientales, económicos, sociales, culturales, tecnológicos y políticos entre otros; y—además debe combinarse con otras prácticas de manejo conservacionista como cultivos de coberturas, rotaciones de cultivo, sistemas agrosilvopastoriles que impliquen la sustitución de insumos y paralelamente el rediseño de los agroecosistemas, lo cual redundará en agroecosistemas sostenibles.

En base a lo anterior el objetivo de este trabajo fue realizar un análisis del proceso de

conversión agroecológica de los sistemas de manejo que se vienen desarrollando en

condiciones de sabana, mediante la evaluación de distintos parámetros de calidad del suelo.

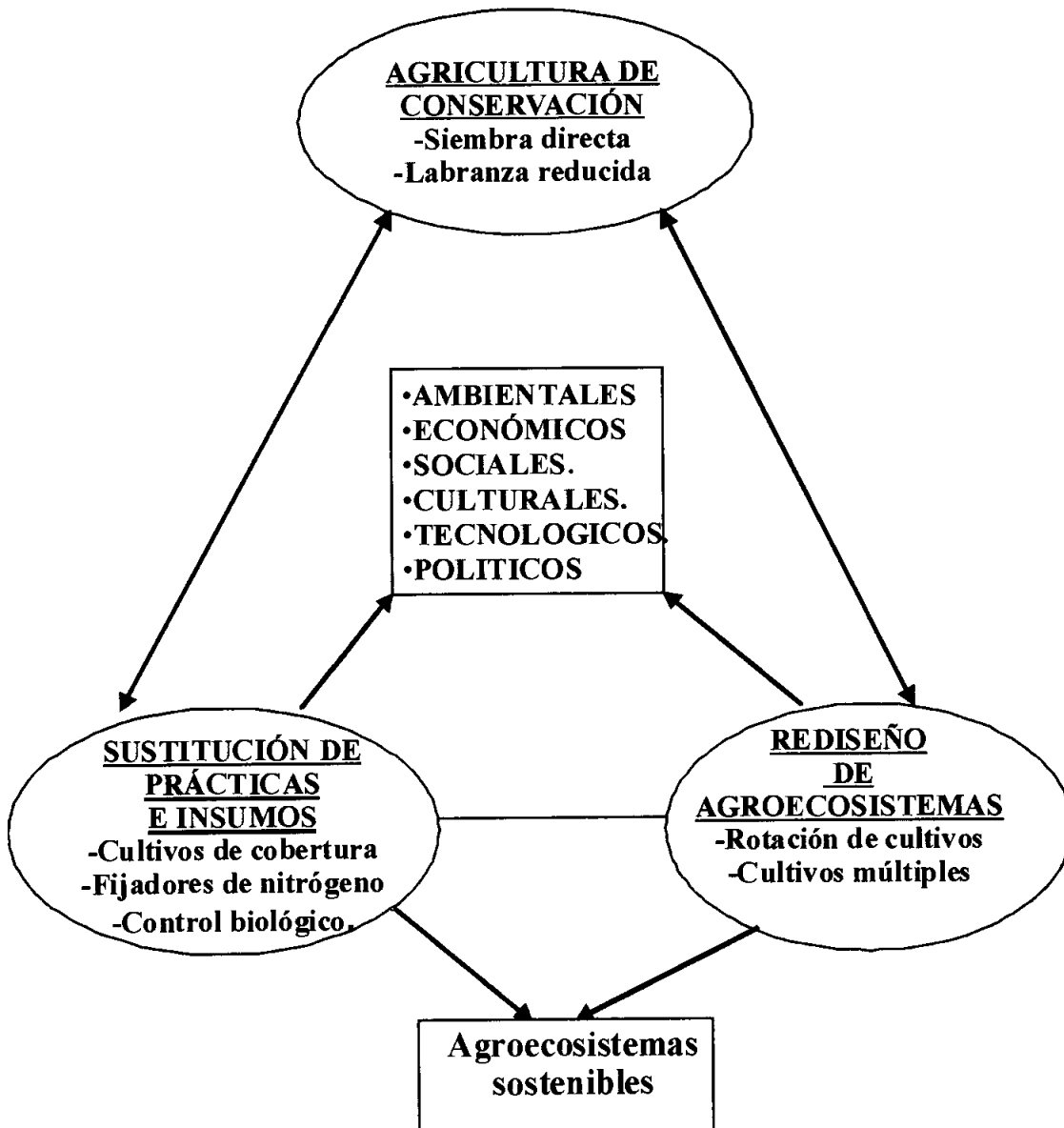


Figura 1. Agricultura de conservación y el manejo agroecológico de las sabanas

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio.

El área de sabanas ocupa una superficie de 260.000 km², que representa el 29% del territorio nacional y de esta el 70% esta localizado en los estados Monagas, Anzoátegui, Apure, Barinas, Portuguesa, Cojedes, Guárico y parte del estado

Bolívar. Nuestro trabajo se ha centrado en la Estación Experimental La Iguana, Municipio Santa María de Ipire, estado Guárico, Venezuela (8° 25' N y 65° 25' W) (Figura 2), con una altura entre 80-120 msnm, un clima estacional, con una época de sequía y otra de lluvia (3 a 6 meses húmedos), un relieve suavemente ondulado, con pendientes de 2 %, precipitación anual promedio de 1369 mm, y una temperatura media mensual de 27,3°C (Hernández y col., 2004a).



Figura 2. Localización de la Estación Experimental la Iguana (Imagen tomada de Hernández-Hernández y col, 2004.)

Desde el punto de vista del suelo, taxonómicamente es clasificado como Typic Plinthustults, francosa gruesa, caolinítica, isohipertérmica, con baja fertilidad natural, bajo contenido de materia orgánica, pH entre de 4.5 a 5.8, baja capacidad de retención de humedad, debido fundamentalmente a su clasificación textural (arenosa). La vegetación está representada principalmente por especies gramíneas tales como: *Trachypogon* sp, *Axonopus canescens*, *Axonopus capillacea*, *Diectomis fastigiata* y ciperáceas en menor proporción y especies arbóreas: "chaparros" (*Curatella americana*), *Byrsonimia crassifolia* y *Bowdichia virgilioides* (Chacón y col., 1991). El

uso de la tierra es muy diverso, sin embargo el sistema de mixto de producción ganadería de doble propósito-agricultura (maíz, sorgo) constituyen la principal actividad de la zona. Entre otros usos se destacan cultivos como frijol, yuca, pastos introducidos como *Brachiaria humidcola*, *Brachiaria dictyoneura* y *Digitaria decumbens* cuyo valor proteico es mucho más alto que los pastos naturales.

Sistemas de manejo implementados

Los ensayos en la estación experimental La Iguana fueron iniciados en 1999 a través de un

diseño de muestreo en parcelas grandes (30 x 30 m) en base a un estudio de la variabilidad espacial (Machado, 2000; Lozano y col., 2004). Se sembraron diferentes cultivos (leguminosas y gramíneas) como: *Centrosema macrocarpum*, *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria dictyoneura* para su uso como cobertura dentro del sistema de siembra directa. Se siguió una secuencia de labores agronómicas: preparación de tierras mediante tres pases de rastra, siembra de leguminosas a una dosis de 4 kg ha⁻¹. Luego de establecidas las coberturas se han venido implementando distintas modalidades de siembra directa de maíz sobre las coberturas previamente establecidas, las cuales se identificaron de la siguiente manera: SDM+BM: Siembra directa de maíz con barbecho mejorado; SDM+CM: Siembra directa de maíz con *Centrosema macrocarpum*; SDM+BDY: Siembra directa de maíz con *Brachiaria dictyoneura*; SDM+ BH: Siembra directa de maíz con *Brachiaria humidicola*. Para ello, se inició con un pase de rotativa o pastoreo con animales de manera de adecuar el tamaño de las coberturas, luego se aplicó un herbicida de contacto para atenuar las coberturas y posteriormente se realizó la siembra y fertilización del maíz basado en el diagnóstico de la fertilidad del suelo, para finalmente realizar la cosecha del maíz. Una vez realizada la recolección del cultivo de maíz fueron introducidos los animales.

Muestreo de parámetros de suelos

La evaluación de la condición estructural se realizó a través de la medición de distintos parámetros físicos (distribución de tamaño de partículas, densidad aparente del suelo y la distribución de la porosidad del suelo), considerando dos profundidades de muestreo de 0 a 15 y de 15 a 30 cm. Las muestras se mantuvieron sin alteración y a la humedad de campo, y en ellas se determinó: densidad aparente, porosidad total, poros de radio equivalente mayor de 15 μ m y por diferencia los de radio equivalente menor de 15 μ m, por los métodos descritos en detalle por Pla (1983). Para la determinación de la condición química se recolectaron muestras de suelo disgregadas de 36 puntos de muestreo, se secaron al aire y se pasaron por un tamiz menor de 2 mm. Posteriormente se les determinó por duplicado a nivel de laboratorio los

siguientes parámetros: pH y conductividad eléctrica en relación suelo:agua 1:2; capacidad de intercambio catiónico (Anderson e Ingram, 1993). El carbono orgánico (Heanes, 1984), nitrógeno total (Bremner y Mulvaney, 1982) nitrógeno amoniacal y nítrico utilizando cloruro de potasio 2M como extractante y destilación en microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1993); fósforo disponible - Olsen (Spark y col., 1996) y determinado por el método colorimétrico del molibdato-ácido ascórbico (Watanabe y Olsen, 1965). El nitrógeno y el carbono asociado a la materia orgánica por fumigación y extracción (Sparling y West, 1988).

Análisis estadísticos

Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SPSS 12.0 para Windows (Pardo y Ruiz, 2002). A todos los datos obtenidos se les realizó la evaluación de la normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (prueba de Bartlett). Posteriormente se calcularon las medias y la desviación estándar como parámetros para identificar la dispersión de los datos. La comparación de las medias entre los agroecosistemas por profundidad se realizó mediante la prueba de Tukey a una probabilidad del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar el comportamiento de estos agroecosistemas y juzgar su adaptabilidad, durabilidad y estabilidad, desde hace varios años se vienen midiendo una serie de parámetros relacionados con la calidad del suelo desde el punto de vista físico, químico y biológico, parámetros biométricos asociados al cultivo, rendimiento, biomasa y ganancia de pesos, entre otros, que han permitido realizar un monitoreo de la condición agroecológica de los agroecosistemas desarrollados y que son capaces de expresar cuantitativamente las dimensiones del cambio ambiental. Sin embargo, para este trabajo sólo se muestran resultados de los parámetros más sensibles a los cambios de manejo.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de la distribución de tamaño de partículas. Se aprecia

para las dos profundidades una distribución muy similar, con predominio de la fracción arena (88 %) y con bajo contenido de arcilla que oscila entre 6 a 8 %. Dentro de la fracción de arena, se destaca un predominio de las arenas finas y muy finas lo cual es un indicador de baja estabilidad estructural. En suelos arenosos, la conversión agroecológica con sistemas conservacionistas con coberturas luego de tres años ha propiciado la formación de agregados

sobre todo en las fracciones más grandes (datos no mostrados). Con el proceso de formación de agregados también se generan agentes orgánicos coloidales que tienen un doble efecto, por un lado mejoran la eficiencia de la fertilización y por otro propician una protección física de nutrientes y materia orgánica creando un pool de reserva que para las condiciones de sabana es muy importante (Hernández y col., 2004b).

Cuadro 1. Características físicas iniciales del suelo antes de establecer los agroecosistemas ubicados en la Estación Experimental La Iguana (Guárico, Venezuela).

	Profundidad (cm)		
	0 – 15	5 – 15	
% Arcilla	5,97	8,25	
% Limo	6,50	5,36	
% Arena total	87,53	86,39	
Distribución de arenas	% arena muy fina	61,14	60,44
	% arena fina	13,45	13,20
	% arena media	10,90	10,74
	% arena gruesa	1,87	1,86
	% arena muy gruesa	0,17	0,15
Clase textural	arenosa	arenosa	
Densidad aparente (Mg m ³)	1,75	1,73	
Porosidad total (% v v ⁻¹)	35,60	36,82	
Poros de radio >15 μm (%v v ⁻¹)	20,73	22,53	
Poros de radio <15 μm (%v v ⁻¹)	14,87	14,49	

Fuente: Bravo y col., 2004.

Condición Estructural

Densidad aparente: La densidad aparente de suelo es una variable con gran significado agrícola, y su interpretación debe realizarse en función de la textura del suelo. En nuestro caso, debido a que son de textura gruesa (arenosa, 87% de arena), el valor de referencia es de 1,60 Mg m⁻³ a partir del cual pueden generarse problemas de

compactación que a su vez tiene efecto sobre otras propiedades del suelo como la porosidad, conductividad hidráulica, entre otras (Bravo y col., 2004). Tal como se aprecia en el Cuadro 1, el valor inicial de dicha variable presentó valores superiores al límite indicado lo cual pudiera estar asociado al tipo de textura del suelo, mas que a un proceso de deterioro estructural.

Cuadro 2. Cambios en la condición física del suelo por efecto de diferentes agroecosistemas.

Parámetros físicos	Profundidad (0-15 cm)			
	AGROECOSISTEMAS			
	SDM+BM	SDM+CM	SDM+BDY	SDM+BH
Densidad aparente (Mg m ³)	1,61a ¹⁾	1,65a	1,63a	1,66a
Porosidad total (% v v ⁻¹)	39,75a	37,46	40,40a	39,00a
Poros de radio >15 μm (%v v ⁻¹)	23,17a	17,64b	22,26a	15,35b
Poros de radio <15 μm (%v v ⁻¹)	16,57b	19,82b	18,14b	23,64a
Parámetros físicos	Profundidad (15-30 cm)			
	AGROECOSISTEMAS			
	SDM+BM	SDM+CM	SDM+BDY	SDM+BH
Densidad aparente (Mg m ³)	1,71a	1,67a	1,66a	1,71a
Porosidad total (% v v ⁻¹)	37,01a	36,99a	37,95a	36,37a
Poros de radio >15 μm (%v v ⁻¹)	23,53a	16,37b	22,54a	16,95b
Poros de radio <15 μm (%v v ⁻¹)	13,49c	20,62a	15,41b	19,42a

SDM+BM: Siembra directa de maíz con barbecho mejorado; SDM+CM: Siembra directa de maíz con *Centrosema macrocarpum*; SDM+BDY: Siembra directa de maíz con *Brachiaria dictyoneura*; SDM+BH: Siembra directa de maíz con *Brachiaria humidicola*. ¹⁾ Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre agroecosistemas (Tukey, 95%).

Luego de tres años con la introducción de los diferentes agroecosistemas, a pesar de que no se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos sistemas de manejo, se logra mejorar la condición física con respecto a la condición inicial en ambas profundidades, tal como se observa en el Cuadro 2.

Porosidad del suelo: La porosidad del suelo es otra variable física muy sensible al manejo y su interpretación más que su porosidad total (PT) desde el punto de vista de manejo interesa conocer su distribución, es decir la porosidad de aireación ($P_a > 15 \mu\text{m}$) y la porosidad de retención ($P_r < 15 \mu\text{m}$). Como se observa en el Cuadro 2, se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la porosidad de aireación y la porosidad de retención. Los valores iniciales de PT oscilaron de 35 a 36% (Cuadro 1), no obstante con el cambio de manejo se observó un incremento de dichos valores independientemente de los agroecosistemas usados, registrando valores que oscilaron de 37 a 40% para el horizonte superficial y de 36 a 38% en el segundo horizonte. Tanto los valores registrados en la condición inicial como los cambios observados a través de tiempo son considerados adecuados al compararlos con el valor de referencia de 30 % para suelos de textura gruesa (Florentino, 1997). En el caso de la porosidad de aireación se partió de una condición inicial con valores alrededor de 22% (Cuadro 1), muy por encima del valor de referencia de 10%, por debajo del cual existen problemas de aireación. Luego de cuatro años al comparar los distintitos agroecosistemas se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para ambas profundidades de muestreo, registrándose los mayores valores con SDM+BM y SDM+BDY. Al igual que la porosidad total tanto los valores iniciales como los cambios observados se mantuvieron altos y adecuados (mayores de 10%), para la producción agrícola. Los cambios observados en esta variable están asociados a las variaciones en la densidad aparente y la porosidad total del suelo. En términos práctico significa que estos suelos presentan buena aireación, lo cual se relaciona con la textura y aún en condiciones de alta precipitación es difícil que se presenten problemas de aireación (Bravo y Florentino, 1999). La porosidad de retención presentó un ligero incremento con respecto a los

valores iniciales, independientemente del sistema de manejo con mayores valores SDM+CM y SDM+BH. La presencia de una mayor cantidad de poros pequeños en este tipo de suelo puede favorecer una mayor retención de humedad lo cual es potenciado por la falta de perturbación del suelo y la disminución del proceso de evaporación como resultado del uso de la siembra directa con coberturas (Bravo y col., 2004). En términos generales se puede señalar que los resultados obtenidos reafirman la adecuada condición física de estos suelos y con la introducción de la siembra directa en combinación con distintas coberturas dicha condición puede ser mantenida y mejorada.

Condición Química

En el caso de los indicadores químicos como ha sido señalado se está trabajando con coberturas y sistemas de manejo como la siembra directa donde no se perturba el suelo y donde suele ocurrir una estratificación de nutrientes con una mayor acumulación en superficie (Bravo y col., 2007).

Reacción del suelo (pH): En el Cuadro 3 se muestra la caracterización química inicial del suelo ubicado en la estación experimental La Iguana para las profundidades consideradas. Los valores iniciales del pH variaron de 5.17 a 4.55 reflejando una condición que puede ser considerada de medianamente acida a fuertemente acida (Gilbert y col., 1990). Luego de varios años, al comparar los agroecosistemas de manejo evaluados, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con una disminución en la siembra directa con *Centrosema macrocarpum* y vegetación natural con respecto a los valores iniciales (Cuadro 4). Los valores de pH más altos se presentaron en el tratamiento con *Brachiaria dictyoneura* y los más bajos en *Centrosema macrocarpum*. En comparación con los valores iniciales, se produjo disminución del pH en el SDM+BM y SDM+CM, mientras que en la SDM+BDY un aumento de 0,22 y 0,28 unidades en las capas de 0 a 5 y de 15 a 30 cm, respectivamente. Las disminuciones en el pH pudieran obedecer a la descomposición de residuos aplicados en superficie, a la descomposición de ácidos orgánicos o a la nitrificación del amonio proveniente del fertilizante aplicado al cultivo, tal como sugieren Wei y col., (2006).

Cuadro 3. Caracterización química inicial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana (n = 36 muestras compuestas).

Característica química del suelo	Profundidad (cm)		
	0 - 5	5 - 15	15 - 30
pH en agua (1:1)	5,17 (0,36) ¹⁾	5,04 (0,46)	4,55 (0,60)
CO (g kg ⁻¹)	7,1 (1,6)	4,6 (1,5)	2,9 (0,8)
NT (g kg ⁻¹)	0,32 (0,01)	0,25 (0,02)	0,09 (0,01)
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	8,9 (0,8)	7,3 (0,5)	6,2 (0,8)
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	22,1 (1,0)	14,3 (1,6)	11,6 (2,1)
P (mg kg ⁻¹)	4,0 (0,9)	3,2 (0,3)	0,3 (0,0)

Carbono orgánico, NT: Nitrógeno total; Nitrógeno Total, NT; N-NO₃: Nitrógeno nítrico disponible, N-NH₄⁺: Nitrógeno amoniacal. ¹⁾Desviación estándar entre paréntesis.

Carbono Orgánico del suelo: Unas de las limitaciones más importantes de los suelos de sabanas es su bajo contenido de carbono orgánico (López-Hernández, 2005), por lo tanto tal como se

muestra en el Cuadro 3 se partió de una condición inicial baja en todas las profundidades muestreadas, con mayores valores en el horizonte superficial.

Cuadro 4. Características químicas del suelo 4 años después de establecidos los tratamientos de cobertura.

INDICADORES QUÍMICOS DEL SUELO	PROFUNDIDAD (cm)								
	0 - 5			5 - 15			15 - 30		
	SDM+ BM	SDM+ CM	SDM+ BDY	SDM+ BM	SDM+ CM	SDM+ BDY	SDM+ BM	SDM+ CM	SDM+ BDY
pH en agua (1:1)	5,06 b ¹⁾	4,54 c	5,39 a	4,52 b	4,45 b	4,93 a	4,47 b	4,51 b	4,93 a
CO (g kg ⁻¹)	8,6 a	9,1 a	8,2 a	5,6 b	6,8 a	5,7 b	3,1 c	5,2 a	4,1 b
NT (g kg ⁻¹)	0,60 b	1,06 a	0,40 c	0,42 b	0,74 a	0,19 c	0,23 b	0,33 a	0,08 c
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	11,6 a	14,1 a	12,2 a	13,6 b	13,1 b	22,9 a	6,2 a	9,7 a	7,8 a
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	16,1 a	19,0 a	18,7 a	21,5 a	17,4 b	22,3 a	9,5 ab	9,3 b	13,3 a
P-Olsen (mg kg ⁻¹)	7,63 ab	10,35 a	5,65 b	4,12 b	8,19 a	3,09 b	5,57 a	5,65 a	2,67 b

SDM+BM: Siembra directa de maíz con barbecho mejorado; SDM+CM: Siembra directa de maíz con *Centrosema macrocarpum*; SDM+ BDY: Siembra directa de maíz con *Brachiaria dictyoneura*. CO: Carbono orgánico, NT: Nitrógeno total; N-NO₃: Nitrógeno nítrico disponible, N-NH₄⁺: Nitrógeno amoniacal, P-Olsen: Fósforo disponible. ¹⁾ Letras minúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para una misma profundidad (Tukey, 95%)

Con la introducción de la siembra directa y el uso de distintas coberturas se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y las profundidades consideradas, con mayores valores en SDM+CM (leguminosa) con respecto al resto de los tratamientos. Los mayores valores con *Centrosema* probablemente se deban, por una lado a la menor tasa de mineralización y por otro a los altos contenidos de lignina y polifenoles, tal como ha sido señalado por Hernández-Hernández y col. (2004a). La materia orgánica es un componente importante de la calidad del suelo que determina muchas características como la mineralización de nutrientes, la estabilidad de los agregados, la traficabilidad, la captación favorable de agua y las propiedades de retención (Doran y col., 1998). Si bien se produjo un incremento del contenido de carbono orgánico, los valores obtenidos para los distintos agroecosistemas siguen siendo bajos, lo cual pudiera estar asociado al tipo de sistema de maíz-ganadería donde hay una gran competencia por los residuos y el reciclaje de nutrientes es mínimo (Mueller y col., 2001).

Nitrógeno total e inorgánico (NT, N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺): En lo que respecta al nitrógeno, los valores iniciales son bajos para ambas formas de este elemento, con valores de N-NH₄⁺ el doble de los N-NO₃⁻ (Cuadro 3). Los menores valores de nitrato (NO₃⁻) para todas las capas, pudieran estar relacionadas con una mayor absorción de las formas nítricas por parte de las plantas y a mayores pérdidas por lixiviación, dada la textura arenosa del suelo (Sainju y col., 1998). Del nitrógeno total del suelo, el 90% o más se encuentra en forma orgánica y las posibilidades que este elemento se haga disponible para las plantas al ser aplicado como residuo dependerán del balance entre los procesos de mineralización e inmovilización. En este trabajo se evaluó el cambio en el contenido de nitrógeno total (NT), nitrato (N-NO₃⁻) y amonio (N-NH₄⁺) por efecto de los cultivos de cobertura, a todas las profundidades, como índices de disponibilidad de N, tal y como lo sugieren Dou y col., (1995). Como se aprecia en el Cuadro 4, las concentraciones más altas de NT se presentan a nivel superficial y disminuyen con la profundidad, en todos los tratamientos. Se presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en todas

las capas en el siguiente orden SDM+CM>SDM+BM>SDM+BDY, lo que se puede relacionar al tipo de cultivo de cobertura, *Centrosema macrocarpum* (CM) es una leguminosa, *Brachiaria dictyoneura* (BDY) una gramínea y en el barbecho mejorado (BM) se presenta una mezcla de gramíneas y leguminosas. Con relación a los valores iniciales en la capa superficial, en SDM+CM se produjo un incremento entre 196 y 266% del NT, en SDM+BM entre 68 y 155%, y en SDM+BDY se incrementó un 25%, por efecto del aporte de los residuos en superficie. En el resto de las capas disminuyeron los contenidos de NT entre 11 y 24%. Una tendencia diferente se presenta en el nitrógeno inorgánico, donde sólo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la segunda capa (5 a 15 cm), por un mayor efecto de la absorción de las raíces de los cultivos a ese nivel. A diferencia de las condiciones iniciales, tanto el N-NO₃⁻ como el N-NH₄⁺ presentan contenidos en un intervalo similar, entre 11,6 y 19,0 mg kg⁻¹ en la primera capa, entre 13,1 y 22,9 mg kg⁻¹ en la segunda capa y entre 6,2 y 13,3 mg kg⁻¹ en la tercera capa. En el N-NO₃⁻ se produjo un incremento del 26 al 214% en todas las capas, con excepción del tratamiento SDM+BM de 15 a 30 cm, donde el contenido fue similar al inicial. Por el contrario en el N-NH₄⁺ se produjo una disminución de alrededor del 20% en la primera y última capa, lo que indica que en las condiciones del ensayo no existen limitaciones para la nitrificación. En la segunda se produjo un incremento del 22 al 56% N-NH₄⁺, en comparación a las condiciones iniciales.

Fósforo Disponible (P): Uno de los elementos importantes en la nutrición de las plantas lo constituye el fósforo. Cuando se usan sistemas de manejo conservacionistas que incluyen la disminución de las operaciones de labranza y la aplicación de residuos en superficie, se produce un incremento de elementos como el P, atribuido a la naturaleza poco móvil del elemento, a la aplicación superficial de los fertilizantes fosforados y a la descomposición de los residuos en superficie (Lal, 1997; Ekebert y Riley, 1997; Selles y col 1999; Bravo y col., 2006). Otros autores atribuyen este comportamiento a la mayor disponibilidad de P orgánico al aumentar su inmovilización en la

biomasa microbiana y luego se libera lentamente (Evangelou y Blevins, 1988), a un aumento de la actividad de fosfatasa ácida (Contreras y col., 1996), o a una disminución de la fijación de P por parte del suelo, al disminuir el contacto suelo-fósforo (Selles y col., 1999). Como se aprecia en el Cuadro 3, los valores iniciales oscilaron de 4 a 0,3 mg kg⁻¹, de la capa superficial para todos los horizontes considerados, reflejan una condición de baja disponibilidad. Luego de cuatro años (Cuadro 4) se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de cobertura, con las concentraciones más altas en SDM+CM y las más bajas en SDM+BDY. Con el establecimiento del sistema maíz en siembra directa sobre cultivos de cobertura ganado, se produjo un incremento en los niveles de P a todas las profundidades, en el siguiente orden SDM+CM > SDM+BM > SDM+BDY. La concentración de P tiene una tendencia contraria a la del pH en este suelo, a valores más bajos de pH aumenta el P disponible. Esta tendencia pudiera estar relacionada con un efecto residual de la roca fosfórica aplicada en el año 1999, donde la disolución está controlada por el pH del suelo en cada tratamiento. La mayor acumulación en el horizonte superficial pudiera estar relacionada con la aplicación superficial del fertilizante, la naturaleza poco móvil del elemento y a la descomposición de residuos.

El componente biológico del suelo puede ser

un buen integrador de los factores que afectan la calidad del suelo. En este sentido la biomasa microbiana es señalada como la fracción más pequeña del carbono orgánico del suelo y es más sensitiva a los cambios de manejo que el contenido total de carbono (Franzluebbers y col., 1995; Zibilske y col., 2002). Tal como se muestra en el Cuadro 5, después de cuatro años de establecidas las coberturas perennes se produjo un incremento de la biomasa microbiana ($p < 0,05$). En el caso de la gramínea *Brachiaria dictyoneura* el aumento fue mayor al 100% debido principalmente a una presencia de compuestos orgánicos más fácilmente degradables por los microorganismos, a pesar de tener sus tejidos relaciones C/N por encima de 30. Esta mayor actividad de la biomasa microbiana queda evidenciada por la mayor producción de CO₂. En el caso de la leguminosa *Centrosema macrocarpum*, se incrementó la biomasa microbiana solo en un 30% y su actividad metabolizadora estimada a través de la producción de CO₂ disminuyó en 13% con respecto a los suelos de sabana antes de iniciar los manejos productivos (Cuadro 5). Paradójicamente, las leguminosas que suelen tener relaciones C/N por debajo de 20, como es el caso de la *Centrosema*, donde se esperaría una mayor descomposición y mineralización, se genera una actividad metabólica menor puesto que es una cobertura con alto grado de lignina y polifenoles que hacen a sus residuos menos apetecibles por los microorganismos.

Cuadro 5. Carbono y nitrógeno en las fracciones activas de la materia orgánica del suelo.

Tratamientos	N-BM	C-BM	CO ₂
	kg ha ⁻¹		
Siembra directa con <i>Brachiaria dictyoneura</i>	5,5ab ¹⁾	109,0d	122,6c
Siembra directa con <i>Centrosema macrocarpum</i>	4,7ab	59,4b	80,0a
Siembra directa con Barbecho mejorado	5,8b	84,4c	82,7a
Valor inicial antes de instalar el ensayo	3,7a	44,7a	91,6b

¹⁾ Letras minúsculas en sentido vertical diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, 95%).

El tratamiento considerado control (Barbecho mejorado) es en realidad una mezcla de gramíneas y leguminosas nativas que aparecieron como producto de la intervención de los suelos de sabanas, con manejos como el pase de rotativa y la fertilización, por ello fue llamado barbecho mejorado. La mezcla de calidades de residuos con distintos C/N en este tratamiento produjo valores intermedios en la biomasa de microorganismos. Para la conservación de N y C en la biomasa microbiana, se sugieren coberturas que aportan N como las leguminosas, pero que a su vez su tasa de descomposición microbiana sea más baja, de manera que las pérdidas de estos dos elementos sean bajas y el sistema pueda ser más eficiente en el uso de energía y de nitrógeno.

Conclusiones

Los efectos del uso de la tierra y las prácticas de manejo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas pueden suministrar una información esencial para evaluar la condición agroecológica, la sostenibilidad e impacto ambiental. Los atributos químicos, físicos del sitio del ensayo en la Estación Experimental la Iguana, son

característicos de los suelos ácidos, arenosos y poco evolucionados de las sabanas bien drenadas del estado Guárico. Se destacan su alta capacidad de aireación y permeabilidad y su baja fertilidad natural y retención de agua disponible para las plantas. La susceptibilidad del suelo a la formación de sello superficial y baja retención de agua, producto de la distribución de las partículas por tamaño, llevan a sugerir el uso de labranza conservacionista con residuos provenientes de cultivos de cobertura, como una forma de manejo sustentable. La siembra directa propuesta como alternativa a los sistemas de producción tradicionales de ganadería extensiva sobre pastos naturales, la cual consiste en la introducción de cultivos de cobertura (gramínea o leguminosa), como barbechos mejorado para la siembra de maíz sin labranza; produjo un mejoramiento de las propiedades del suelo, entre las que se destaca el aumento del contenido de CO en todos los tratamientos con relación a SN, la disminución del pH en el tratamiento con CM y el aumento en BDY, lo que afectó marcadamente los contenidos de nutrientes en el suelo, especialmente en CM.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. y Nicholls C. I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Rev. Ecosist.* 1:1-10.
- Anderson, J. y J. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International., 171 p.
- Bravo, C y A. Florentino 1997. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del algodón. *Bioagro.* 9(3): 67-75.
- Bravo, C. 2002. El laboreo de conservación en Venezuela. *Rev. Agroecol.* 1(1): 15-30.
- Bravo, C. A., J. V., Giráldez., R. Ordóñez, P. González y F. Perea Torre. 2007. Long-term influence of conservation tillage on Chemicals properties of surface horizon and legume crops yield in a vertisol of southern Spain. *Soil Sci.* 172: 141-148.
- Bravo, C., J. Torrent., J. V. Giráldez., P. González y Ordoñez, R. 2006. Long-term effect of tillage on phosphorus form and sorption in a vertisol of southern Spain. *Europ. J. Agron.* 25:264-269.
- Bravo, C., Z. Lozano, R.M. Hernández-Hernández, B. Moreno, y L. Piñango. 2004. Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana manejado con siembra directa. *Bioagro.* 16:163-172.
- Bremner, J. y C. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. In: Page, A. L. R. H. Miller; D.R. Keeney (Eds), *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil Analysis, Part 2: Chemical and biological properties.* 2nd ed. ASA-SSA, Madison, Wisconsin (USA). 595-642 pp.
- Chacón, E., A. Baldizán y R. Torres. 2004. Manejo sustentable de los recursos alimentarios de las sabanas venezolanas. Primer Taller: Perspectivas de las sabanas en el desarrollo agropecuario de Venezuela. Universidad Simón Rodríguez. Valle de la Pascua, Venezuela. 54 p.
- Chacón, P. I. López-Hernández, y M. Lamotte. 1991. Le cycle de iazote dans une savane a *Trachypogon* an Centre an Venezuela. *Revue d'ecologie et Biologie du sol.* 28:67-75.
- Doran, J.W., Elliot, E. T y Paustian, K. 1998. Soil microbial nitrogen cycling, and long term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil and Till Res.* 2:3-18.
- Dou, Z.; R. Fox.y J. Toth. 1995. Seasonal soil nitrate dynamic in corn as affected by tillage on nitrogen source. *Soil Sci. Am. J.* 59: 858-864.
- Ekeberg, E.y H. Riley. 1997. Tillage intensity effects on soil

- properties and crop yield in a long-term trial a Morainic loam soil in southeast Norway. *Soil Till. Res.* 42:277-293.
- Evangelou, V. y R. Blevins, 1988. Effects of long-term tillage systems and nitrogen addition on potassium Quantity-Intensity relationship. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1047-1054.
- Franzluebbers, A. J. Hons, F. M. y D.A. Zuberer. 1995. Tillage-induce seasonal changes in soil physical properties affecting CO₂ evolution under intensive cropping. *Soil Till. Res.*, 34:41-60.
- Florentino, 1997. Guía sobre índices físicos de suelo. Valores críticos. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía, Maracay). Mimeografiado. 7 p.
- Gilabert de B, J., I. López de R. y R. Pérez de R. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelo para el diagnóstico de la fertilidad. Versión preliminar. CENIAP, Maracay. 164 p.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Editorial LITOCA. Primera edición. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 pp.
- Gliessman, S. R. 2006. Agroecology. The ecology of sustainable food system. Second Edition. Taylos & Francis Group. New York. United Sated. 384 pp.
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometer procedure. *Comm. Soli Sci. Plant. Ana.* 15:1191-1213.
- Hernández-Hernández, R.M., Z. Lozano, C. Bravo., B. Moreno y L. Piñango. 2004a. Informe final del proyecto S1-97001360 Alternativas para el mejoramiento del sistema maíz-ganado en suelos del estado Guárico. 225 pp.
- Hernández-Hernández, R.M., Lozano, Z., Bravo, C., Moreno, B., Piñango, L. 2004b. The use covers crop and no-tillage as Management that increases the potential sequestration carbon in the Venezuela central plain soils. *Bull. Res. Eros. Montpellier* 23:374-377.
- Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. II Soil Chemical properties. *Soil. Till. Res.* 42: 161-174.
- Lozano, Z., C. Bravo, R.M. Hernández-Hernández, M.T. Dell' abate, F. Alianello, F. y A. Lozano, Z., C. Bravo, F. Ovalles, R.M. Hernández-Hernández, B. Moreno, L. Piñango y J. G Villanueva. 2004 Selección de un diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro* 16, 61-72.
- Lozano, Z., H. Romero y C. Bravo. 2010. Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrociencia*, 44:135-146.
- Machado, W. 2000. Planificación y análisis de experimentos de campo en grandes parcelas sin repetición. *Alcance, Revista de la Facultad de Agronomía* 59: 1-73.
- Mueller, J. P., D. A. Pezo., J., Benites y N. P. Schlaepfer, 2001. Conflicts between conservation agriculture and livestock over the utilisation of crop residues. *En: I Congress International Conservation Agriculture.* Madrid. pp.212-225.
- Pardo, A. y M. A. Ruiz., 2002. SPSS 12. Guía para el análisis de datos McGraw-Hill- Interamericana de España. Madrid, España. 715 p.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía, Alcance* 32:1-91.
- Odum, E. P. 1984. Properties of agroecosystems. In R. Lowrance, B. R. Stinner, and G. J. House (eds), *Agricultural Ecosystems: Unifying Concepts.* John Wiley and Sons: New York pp. 5-12.
- Sainju, U. M.; B. P. Sing y W. F., Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90: 511-518.
- Selles, F., B., G. McConkey y C. A. Cambell. 1999. Distribution and form of P under cultivator and zero tillage for continuous and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 51: 47-59
- Sparks D. L., A. L. Page., P. A. Helmeke., R.M. Loceper., P. N. Sottanpour., M. A. Tabatai., C. L. Johnston y M.E. Summer. 1996. Methods of soil analysis, part 3rd ed, *Agron N° 5*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Sparling, G. y West. 1988. Modifications to the fumigation-extraction technique to permit simultaneous extraction and estimation of soil microbial C and N. *Comm. Soil Scie. Anal.* 19:327-344.
- Watanabe, F. y S. Olsen. 1965. Test of acid ascorbic method for determining phosphorous in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 677-678.
- Wei, X., M. Hao, M. Shao y W. Gale. 2006. Changes in soil properties and availability of soil micronutrients after 18 year of cropping and fertilization. *Soil Till. Res.* 91:120-130
- Zibilske, L.M., J. M. Bradford y J. R. Smart. 2002. Conservation tillage induces changes in organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil Till. Res.* 66:153-163.