

Biomasa microbiana en suelos de sabanas venezolanas bajo manejo conservacionista*Microbial biomass in Venezuelan savanna soils under conservationist management***Rosa Mary Hernández-Hernández**

Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos IDECYT- Universidad Simón Rodríguez. Apdo 47925. Caracas-Venezuela. E-mail: rhernandez@reacciun.ve; rodama33@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los manejos agrícolas conservacionistas se han constituido en alternativas viables para los ecosistemas de sabanas convertidos en agroecosistemas. Uno de los cambios más notorios, por el uso de estas prácticas, es el producido en la biomasa microbiana (BM) de los suelos y sus actividades metabólicas. El uso de la siembra directa en suelos ultisoles, ha llevado a un incremento en la BM y en la inmovilización de N, con menores tasas de producción de CO₂. Otros manejos, en suelos entisoles y vertisoles, con coberturas perennes (pastos y leguminosas) produjeron, durante el desarrollo del cultivo del maíz, cambios significativos en el C y N de la BM y en la producción de CO₂. Dependiendo de la textura del suelo, el efecto de las coberturas en la calidad biológica del mismo fue distinto. Otros manejos, como la conversión de sabanas de *Trachypogon sp* en bosques de *Pinus caribaea* (monocultivos), disminuyó en un 56% la BM y su actividad en un 48%. La quema, que es otra práctica común en el manejo de las sabanas, produjo una disminución del 25% de la BM. En suelos de sabanas del Amazonas, el uso de fertilización orgánica (estiércol de gallina y de cerdo), produjo un elevado incremento de la BM (97%) y de su actividad (25%). Estudios diagnósticos de unidades de producción en la región del Estado Guárico, han demostrado, **hasta ahora**, que a pesar de las bondades que ha manifestado el manejo conservacionista en la calidad biológica de los suelos, solo un 15 % practica el uso de este tipo de manejo en la región.

Palabras claves: Biomasa microbiana, suelo, sabana, materia orgánica, siembra directa, coberturas.

ABSTRACT

Conservationist agriculture managements have become feasible alternatives for savanna ecosystems transformed into agroecosystems. One of the most evident changes resulting from the use of these practices is the one experienced by microbial biomass (BM) and its metabolic activities. The use of no tillage in ultisol soils has produced a increase in BM and N immobilization, with lower CO₂ production rates. Other managements in entisol and vertisol soils with perennial covers (pastures and leguminosae) produced significant changes in C and N, and CO₂ production during maize development process. Depending on the soil texture, the effect of covers on the biological quality of soils varied. Other managements, such as turning *Trachypogon sp* savannas into *Pinus caribaea* forests (monocultives), caused a 56% and a 48% decrease of BM and its activity, respectively. Burning, another common practice in savanna management resulted in a 25% decrease of BM (97%) and its activity (35%). Diagnostic studies conducted in production units in Guarico state have so far showed that despite the positive effect of conservationist managements on the biological quality of soils, only 15% of local producers use them in the region.

Key words: Microbial Biomass, soil, savanna, organic matter, no tillage, cover.

La biomasa microbiana como fracción activa de la materia orgánica

El suelo puede ser visto como un ecosistema, en el que existen una fase sólida, una fase líquida y una gaseosa, y donde conviven los microorganismos del suelo en interacción con su microambiente, a la vez que se desarrollan relaciones del tipo intraespecífica e interespecífica. Esta comunidad microbiana comprende una serie de gremios que operan a distintas tasas, ocupando diferentes nichos espaciales y temporales y cumplen distintos roles funcionales. Esta visión de teorías de ecosistemas en el ámbito del microambiente suelo, lleva a inferir que se pueden lograr cambios en la estructura microbiana del suelo a través de la manipulación separada de grupos microbianos.

Otra forma de ver el papel de los microorganismos en el suelo, es considerándolos como la fracción más activa de la materia orgánica, con tiempos de recambio muy cortos, de días a meses; dependiendo de las condiciones ambientales, que cumplen una función determinante en el ciclaje de nutrientes tan importantes como el C, N, P y S. Esta fracción, junto con las raíces y la micro y mesofauna del suelo, conforman aproximadamente el 4% de la materia orgánica viva, y el resto, es la que se denomina según Theng *et al.* (1989), la materia orgánica muerta, formada por la fracción ligera y el humus. En términos de biomasa microbiana, no importa qué grupos funcionales están presentes en el suelo, lo que se expresa es la masa de microorganismos en g/kg suelo, y en ella, cuánto C ó N ó P ó S está inmovilizado o forma parte de la biomasa microbiana. La manipulación de la biomasa microbiana a través de cambios en el microambiente del suelo, conduce a cambios en la estructura de la comunidad microbiana, que al final se reflejará en variaciones de los elementos mencionados inmovilizados en esta fracción de la materia orgánica.

La biomasa microbiana, como fracción lábil de la materia orgánica, es la encargada de la descomposición de los residuos orgánicos que entran al suelo. Así mismo, puede mejorar las condiciones de fertilidad del suelo al incrementar la capacidad de intercambio catiónico, ser un factor formador y estabilizador biológico de los agregados del suelo, principalmente en suelos de alto contenido de arenas, y ser un factor de disminución de la toxicidad a través de procesos de detoxificación y quelación. Lo más destacado, es el carácter que le da al suelo a actuar como fuente o sumidero en el ciclaje de nutrientes, a través de los procesos de mineralización e inmovilización, cuando los microorganismos realizan la actividad descomponedora. Según Wagner y Wolf (1999), en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, la biomasa microbiana transforma alrededor de 2/3 de los residuos que entran al suelo perdiéndose a la atmósfera como CO₂, una parte es utilizada en su biosíntesis y después de varios estados de descomposición, donde se van mineralizando los compuestos orgánicos más lábiles y solubles, queda aproximadamente 1/3 de los residuos iniciales en las formas más recalcitrantes como el humus. El flujo de CO₂ a la atmósfera, mediado por la biomasa microbiana a través de la actividad descomponedora, es de casi 60 GT/año, similar a lo producido por las plantas mediante la respiración.

Los cambios que puedan ocasionarse por las labores agronómicas, especialmente si éstas implican el uso de tecnologías de altos insumos y fuerte mecanización, pueden conllevar a alteraciones de las características físicas y químicas del suelo que definen el microhábitat en que se desarrollan los microorganismos y sus depredadores. En consecuencia se puede hablar de un deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que comprenden su calidad. Es por esta razón, que la biomasa microbiana, junto con otros parámetros biológicos y bioquímicos del suelo, han sido utilizados recientemente, con mayor frecuencia, como indicadores de calidad del suelo, al ser sensibles al manejo antropogénico y a los factores ambientales. Los cambios dados en la biomasa microbiana, se producen por variaciones en la diversidad microbiana.

El trópico, dadas sus características climáticas de altas temperaturas durante todo el año y de fuerte estacionalidad en la distribución e intensidad de la precipitación, se caracteriza porque sus suelos sufren procesos biológicos y bioquímicos con mayores velocidades, provocando, que los suelos sean muy lavados, meteorizados y con bajo contenido de materia orgánica. En este sentido, cualquier manejo agronómico que conlleve una manipulación de la biomasa microbiana y su actividad, reviste gran importancia ya que puede influir en muy poco tiempo, en cambios en el ciclaje de los nutrientes que son importantes para las plantas, y que dado a los factores señalados anteriormente, se encuentran en muchos suelos tropicales en niveles limitantes para el desarrollo agrícola.

Las sabanas como ecosistemas productivos

Uno de los ecosistemas con mayor extensión en el neotrópico es el de sabanas, el cual ocupa 250 Mha. Sólo en Brasil ya existen 200 Mha y en Venezuela se cuenta con aproximadamente 20 Mha. Las sabanas en líneas generales están caracterizadas por una dominancia de una vegetación herbácea de gramináceas que puede variar en composición florística dependiendo de la unidad fisiográfica (determinante de las condiciones hídricas del suelo) en la que se desarrolla, con presencia esporádica de árboles achaparrados como *Curatella americana* (chaparro), *Byrsonima crassifolia* (Manteco) y *Bowdichia virgilioides* (alcornoque). Los suelos son ácidos, con muy baja fertilidad y alto contenido de sesquióxidos de hierro y aluminio (Cuadro 1). El clima típico, conlleva una marcada estacionalidad, con una época de lluvia que puede variar en duración, según gradiente de mayor a menor en dirección oeste-este de los Llanos Venezolanos, por esta razón, según la región geográfica, la distribución de lluvia unimodal puede pasar a ser bimodal, con un pequeño veranillo en plena época de lluvia (Figura 1). Uno de los aspectos más destacados es que las lluvias suelen ser intensas y erráticas, con un alto poder erosivo, lo cual puede generar en estos suelos, si son mal manejados, serios problemas de degradación.

Comparando con otros ecosistemas, como los de bosques, los de sabana son muy poco productivos, de hecho el contenido de nutrimentos tanto en la vegetación como en el suelo, es muy bajo, si se considera que en los bosques deciduos estos contenidos son mayores en los dos compartimientos mencionados, o como en los bosques lluviosos tropicales, donde el ecosistema se mantiene por los altos contenidos de nutrimentos existentes en la vegetación. En este sentido, el manejo tradicional de las sabanas neotropicales, ha sido en más del 50% de su extensión, para ganadería extensiva y uso del fuego recurrente anual durante la época seca, de manera de estimular el rebrote para el consumo del ganado. En el desarrollo de sistemas de producción en suelos de sabana, el manejo de la materia orgánica, de forma de afectar los ciclos biogeoquímicos, surge como un aspecto a considerar para lograr unidades más productivas. Este objetivo se fundamenta principalmente en la biomasa microbiana, al ser ésta la fracción más activa de la materia orgánica.

Cuadro 1. Características físico-químicas de suelos de sabanas venezolanas

Sabanas	Precipitación (mm)	Textura	C (%)	N (%)	CIC (cmol ⁺ /kg)	SB (%)	pH	P (ppm)	Ca (cmol ⁺ /kg)	K (cmol ⁺ /kg)
Occidentales (Barinas)	1400	Fa (16% arcilla)	0.96	0.06	3.3	52	5.4	0.7	0.65	0.16
Centrales (Guárico)	1300	FA (35% arcilla)	1.5	1.1	23.4	14.2	5.5	9	1.7	0.11
Amazonas	2900	Fa (15% arcilla)	1.2	0.08	3.4	3.5	4.5	0.5	0.1	0.06

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; F: Franco arenoso; FA: Franco arcilloso; SB: Saturación Bases
Fuentes: Stein (1999), Hernández *et al.* (2003), Acevedo (2003)

El clima tropical acelera los procesos de descomposición y transformación microbiológica, por lo cual el tiempo de retorno de la biomasa microbiana es mucho más corto que en zonas templadas. Sin embargo, dentro de los ecosistemas tropicales los tenores de biomasa microbiana pueden variar considerablemente como se observa en el Cuadro 2.

Más de 40 Mha de las sabanas Sudamericanas han sido cultivadas con pastos introducidos de mejor calidad nutricional para el forraje, en especial destaca en Brasil lo que se ha denominado la "Brachiariización" de las sabanas. Estos cambios a pasturas mejoradas pudieran tener efecto en la emisión de gases como CO₂ y N₂O, con una connotación ambiental en el denominado efecto invernadero, si se consideran las grandes extensiones con *Brachiarias* en las sabanas Sudamericanas.

No solo el cambio de pasturas puede mejorar la productividad en los ecosistemas de sabanas, sino que también se han ido utilizando estos ecosistemas para la producción de monocultivos y ganadería de doble propósito, con tecnología de altos insumos y labranza intensiva. Ello ha ocasionado serios problemas de degradación de suelos por activación de los procesos de erosión y disminución de la biodiversidad, en consecuencia un deterioro progresivo del ambiente y productividad de los agroecosistemas.

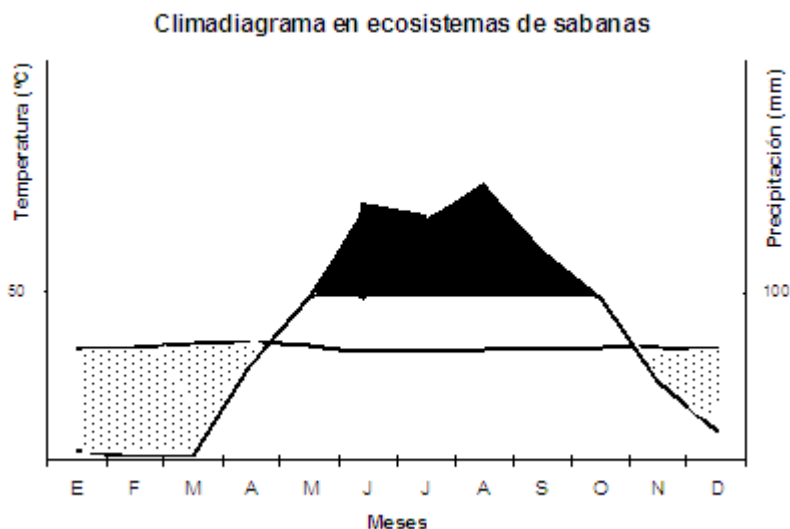


Figura 1. Climadiagrama de Gaussen típico para el clima de sabanas Venezolanas. Datos de 10 años de registro en la Estación Las Cabañuelas (Edo Guárico).

Cuadro 2. Biomasa microbiana de suelos de ecosistemas tropicales

Ecosistema tropical	Biomasa microbiana ($\mu\text{g C/g}$)
Sabanas	50 - 500
Bosque lluvioso	340 - 470
Bosque húmedo del Amazonas	1000 - 2000

Fuentes: Luizao *et al.* (1992), Mazzarino *et al.* (1993), Hernández-Hernández y López-Hernández (2002), Gómez (2004).

Siembra directa vs. Labranza Convencional

Dependiendo del tipo de labranza el suelo se puede comportar como un sumidero o fuente de C. Los sistemas de labranza convencional que implican una ruptura del suelo y enterramiento de los residuos de la cosecha y otras plantas consideradas como malezas, incrementan la mineralización del C y por tanto el suelo tiende a comportarse como fuente de C. En cambio el suelo bajo siembra directa se comporta como un sumidero de C, puesto que promueve la disminución de las emisiones de CO_2 al ambiente. Esto tiene implicaciones importantes en el secuestro de C tan en boga actualmente por el problema de cambios globales y el efecto invernadero.

En los últimos 30 a 40 años solamente en los Llanos Centrales Venezolanos se ha incrementado en un 80% el uso de la siembra directa como sistema alternativo para la producción de cereales, entre ellos; maíz y sorgo.

Este tipo de manejo no solo tiene injerencia en el ciclo biogeoquímico del C, sino también en el de un elemento tan limitante en los suelos de sabana como el N, cuyas transformaciones mediadas biológicamente ocurren muy ligadas a las transformaciones del C. Es por ello que en los primeros años de uso de la siembra directa, prevalecen los procesos de inmovilización microbiana del N, luego de varios años, aproximadamente de unos 10 años de uso continuo de la siembra directa, puede cambiarse la dirección de la transformación microbiana a un balance neto de mayor mineralización de N. Un ejemplo de ello surge de la comparación de los resultados de las tasas de mineralización de suelos de sabana (SN) que fueron cultivados durante cinco años bajo siembra directa (SD), con los que estuvieron continuamente bajo labranza convencional (LC) (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002) (Cuadro 3). La LC promovió en este corto tiempo mayor mineralización de N, especialmente la amonificación, mientras que con la SD, la mineralización fue debida principalmente a la nitrificación, que ocurrió en la época de lluvia.

Cuadro 3. Mineralización de N en suelos de sabana con siembra directa y labranza

Tratamiento	Tasa de amonificación	Tasa de nitrificación	Tasa de mineralización de N
	mg kg ⁻¹ d ⁻¹		
SD-lluvia	0.11	0.70	0.81 d
SD-sequía	0.13	0.37	0.51 c
LC-lluvia	0.48	0.47	0.95 e
LC-sequía	0.28	0.07	0.35 b
SN-lluvia	0.26	0.08	0.34 b
SN-sequía	0.11	---	0.11 a

SD: siembra directa; LC: labranza convencional; SN: sabana natural.

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas con un $p < 0.05$.

Fuente: Hernández-Hernández y López-Hernández (2002)

Uno de los cambios más dramáticos observados al comparar el efecto de la siembra directa y de la labranza convencional en los suelos de sabana, ha sido el ocurrido en la estabilidad de los agregados por los fuertes contrastes de períodos sucesivos de humedad-sequía. En un trabajo de Hernández-Hernández *et al* (2000) se evidenció que la gran estabilidad de los macroagregados o de las fracciones de agregados de un tamaño adecuado para el desarrollo de las raíces (1-4 mm) presente en el suelo control (SN), disminuye en aproximadamente un 70% cuando el suelo es manejado de forma continua con labranza convencional (LC) por más de 10 años. Sin embargo, este efecto puede revertirse hasta lograr menos del 50% de reducción de la presencia de este tamaño de agregados, cuando el suelo es manejado con siembra directa (SD). Aparte de esta mejora en la estabilidad, lo que más destaca es que se logra que la estabilidad de los macroagregados en el suelo con siembra directa se mantenga independientemente de si el período es sequía o lluvia, al igual que sucede en el suelo de sabana natural. Muy por el contrario los macroagregados del suelo bajo labranza convencional son poco estables, permaneciendo en esa condición menos de un 10% de los macroagregados, esta característica de poca estabilidad le confiere al suelo una alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Hernández-Hernández y López-Hernández (2002) reseñan la importancia de la biomasa microbiana para explicar la mayor estabilidad de los macroagregados de los suelos de sabana con SD, puesto que éstos presentaron el mayor desarrollo de la biomasa microbiana, con una menor actividad descomponedora (Cuadro 4).

Por el contrario, los macroagregados del suelo bajo LC, tuvieron una menor biomasa microbiana, pero muy activa, que indicaría una mineralización del C orgánico, lo cual llevaría a una disminución de los compuestos orgánicos que pudieran servir de unión entre las partículas y microagregados del suelo, y que ayudarían a mantener su estabilidad a pesar de los cambios de humedad del microambiente del suelo.

Modelos conceptuales presentados por estos autores muestran que el manejo de siembra directa en los suelos de sabana, puede constituirse en una alternativa para mejorar las condiciones de fertilidad del suelo, mediante el incremento de aquellas fracciones de materia orgánica que pueden servir de reservorios de nutrimentos como el N potencialmente mineralizable (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002). Estas fracciones fueron: la biomasa microbiana, la fracción ligera de la materia orgánica y la materia orgánica que está físicamente protegida en los macroagregados del suelo. Con la siembra directa, también se produce una disminución de las actividades de transformación biológica del C y el N, generando una menor disponibilidad en la solución del suelo de elementos como el N y el P, pero con menores riesgos de pérdida por la vía de lixiviación o erosión (en el caso del N), o con menores pérdidas como CO₂ (en el caso del C). Como conclusión importante de dichos modelos es que la siembra directa promueve relaciones y funcionamientos de las distintas fracciones de la materia orgánica en el suelo muy similares a las presentadas en los suelos de sabana natural, constituyéndose una forma de manejo más conservacionista desde el punto de vista de los ciclos biogeoquímicos y desde el punto de vista ambiental.

Cuadro 4. Biomasa microbiana y actividad en agregados de suelos de sabana

Tratamiento	Macroagregados		Microagregados	
	C-BM mg kg ⁻¹	CO ₂ mg kg ⁻¹ d ⁻¹	C-BM mg kg ⁻¹	CO ₂ mg kg ⁻¹ d ⁻¹
SD-lluvia	250	175	119	200
SD-sequía	141	150	93	105
LC-lluvia	119	265	61	250
LC-sequía	123	250	92	140
SN-lluvia	186	245	62	140
SN-sequía	219	160	94	210

C-BM: Carbono unido a la biomasa microbiana

Mejorando el sistema de coberturas en siembra directa

Los resultados discutidos hasta ahora han sido obtenidos usando manejos de siembra directa en sabanas, pero dejando como cobertura, residuos de la cosecha anterior (restos de cereales). Sin embargo, ¿Qué sucede si además de la labranza conservacionista, se usan como coberturas plantas que pueden ser aportes continuos de residuos orgánicos, tanto desde la parte aérea de la superficie del suelo como de la subterránea?. Es el caso de coberturas perennes asociadas a los cultivos de cereales, estas coberturas bien podrían ser pastos como las *Brachiarias* o leguminosas, conocidas estas últimas por su capacidad en la fijación de N atmosférico. Este tipo de ensayos se han venido realizando desde hace unos cinco años en suelos de sabanas bien drenadas y en suelos vertisoles muy degradados. La propuesta tecnológica presentada por Hernández-Hernández *et al.* (2003) implica el establecimiento de coberturas perennes: *Brachiaria dictioneura*, *Brachiaria decumbens*, *Centrosema macrocarpum* y el control de vegetación natural, cada una en asociación con el maíz durante la época de lluvia, y sirviendo como mejor oferta forrajera para el ganado, ya sea ovino o bovino, en la época de sequía.

En esta tecnología, con el fin de darle ventaja competitiva al maíz, antes de la siembra del cereal, se procede a cortar las coberturas a ras del suelo y los residuos son dejados en superficie. Posteriormente las coberturas vuelven a emerger y en plena época de lluvia se desarrollan, tanto las coberturas como el maíz. Este tipo de manejo se ha venido repitiendo anualmente desde 1999 y resultó exitoso para suelos de sabanas bien drenadas, pero no para suelos vertisoles muy degradados.

El uso de las coberturas de distinta calidad y tasas de descomposición (Padrino y Hernández-Hernández, 2003) han conllevado a condiciones microambientales del suelo diferentes, que se traduce en cambios en la biomasa microbiana y sus actividades (Hernández-Hernández *et al.*, 2003) (Cuadro 5). A pesar de la presencia de la leguminosa, el suelo con *Centrosema macrocarpum* ha tenido un menor desarrollo de la biomasa microbiana y de su actividad descomponedora, si se compara con el incremento observado de la biomasa microbiana más activa en el suelo con *Brachiarias*, especialmente con la *Brachiaria dyctioneura* (Cuadro 5). El qmC (coeficiente de C orgánico total que es mineralizado por la biomasa microbiana) más bajo en el suelo con la leguminosa, indica que el residuo generado por esta cobertura es de un tipo más recalcitrante y difícil de descomponer por la biomasa microbiana, por lo cual la disponibilidad de nutrimentos como el N, que es más alto en el tejido de la *Centrosema*, pudiera hacerse más lenta en el tiempo. La biomasa aérea y radical son significativamente mayores en la *Brachiaria dyctioneura* (Ramírez, 2003), y por tanto, los aportes por hectárea de elementos como N, P y C son mayores con esta cobertura, a pesar que la leguminosa tiene mayor contenido de N en los tejidos de hojas y tallos, y más P en sus raíces con relación a las *Brachiarias*. La generación de una mayor cantidad de residuos orgánicos más fáciles de descomponer con la *Brachiaria dyctioneura*, incrementó significativamente la biomasa microbiana y mejoró temporalmente la estabilidad de agregados presentes en suelos arenosos. Este cambio junto con el mejoramiento microbiológico del suelo, traducido en un mayor contenido de nutrientes en formas disponibles o potencialmente mineralizables a corto plazo, pudiera ser la causa principal de los mayores rendimientos de maíz obtenidos con esta cobertura.

Cuadro 5. Parámetros microbianos en sabanas del suelo La Iguana bajo diferentes coberturas

Trat.	N (%)	CO (%)	C/N	C-BM (mg kg ⁻¹)	N-BM (mg kg ⁻¹)	CO ₂ (mg kg ⁻¹ d ⁻¹)	C-BM /N-BM	C-BM/C (%)	qCO ₂	qmC
Bdi	0.04 ^{bc}	0.9 ^{ab}	22.5 ^a	138.8 ^a	7.0 ^a	156.7 ^a	21.5 ^a	1.6 ^{ab}	0.10 ^a	0.07 ^a
Bde	0.04 ^c	0.8 ^b	20.0 ^a	147.2 ^a	5.8 ^a	139.8 ^a	32.7 ^a	1.8 ^a	0.07 ^{ab}	0.07 ^a
Cma	0.05 ^{ab}	1.0 ^a	20.0 ^a	84.8 ^b	6.0 ^a	102.0 ^b	15.2 ^b	0.9 ^c	0.08 ^a	0.04 ^b
VN	0.05 ^a	1.0 ^a	20.0 ^a	106.3 ^a	6.3 ^a	99.9 ^b	27.3 ^a	1.1 ^{bc}	0.04 ^b	0.04 ^b

Trat.: Tratamiento; Bdi: *Brachiaria dyctioneura*; Bde: *Brachiaria decumben*; Cma: *Centrosema macrocarpum*; VN: Vegetación Natural; C-BM: Carbono de la biomasa microbiana; N-BM: Nitrógeno de la Biomasa Microbiana; CO: Carbono Orgánico; qCO₂: coeficiente metabólico qmC: Coeficiente de mineralización del Carbono
Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos de coberturas p>0.05. Test de Tukey. N=72 por tratamiento.

Fuente: Hernández-Hernández *et al.* (2003)

¿Cómo responde la biomasa microbiana a distintos manejos agrícolas en las sabanas venezolanas?

Existen otros manejos que se le han dado a las sabanas en distintas regiones del país y que pudieran tener influencia en la biomasa microbiana. En las sabanas orientales de Monagas y Anzoátegui, destaca la conversión de sabanas de *Trachypogon* a bosques de *Pinus caribaea* (monocultivos) desde hace más de 20 años, con el fin de producir pulpa para papel. Estos suelos ácidos (pH 4,47) sumamente arenosos (94% de arena) y de baja fertilidad (0,3 T/ha de N y 9 T/ha de C) a pesar que

umentaron en un 38% el contenido de C por el cambio de uso, la biomasa microbiana disminuyó en un 56% y su actividad respiratoria en un 48%. Relacionado al N, también decreció la conservación de N en la biomasa microbiana y la mineralización del mismo en 17%. La mayor demanda de los árboles por N, en estos suelos tan pobres, la disminución de los compartimientos de materia orgánica que pueden conservar N; como la biomasa microbiana, y la menor actividad mineralizadora de la misma, ha causado una disminución del N del suelo en un 25% después de 14 años de monocultivos con el *Pinus caribaea* (Campos, 1999). Estimando el flujo de C y N en la biomasa microbiana según el índice Raubuch y Joergensen (2002), este fue menor en el suelo con el pinar que en la sabana (Cuadro 6) y esto tendría que ver con el tipo de residuo orgánico que generan los árboles de *Pinus caribaea*, cuyas acículas, que hacen un colchón de hojarasca, son de muy difícil descomposición, por el alto contenido de terpenos y otras sustancias alelopáticas.

Una práctica muy común del manejo de sabanas naturales es el fuego anual en el período de sequía. El efecto de la quema en la biomasa microbiana fue evaluado por Güerere (1992) encontrando que la quema disminuye la biomasa microbiana en un 25%, en un suelo franco arenoso de los Llanos Centrales del Estado Guárico, ácido (pH 5,6) y con 28 T/ha de C y 1 T/ha de N. Este cambio, pudo ser debido a que las sabanas cuando se dejan de quemar por un largo tiempo, en este caso más de 30 años, la vegetación dominada por gramíneas cambia completamente a una vegetación con fisionomía arbustiva y composición florística diferente a la nativa.

El cambio de sabanas a cultivos de cereales, ya sea manejados en forma conservacionista o convencional, incrementa la actividad microbiológica, aproximadamente entre 130 y 190%, en suelos de sabanas franco-arenosos y de baja fertilidad (0,8 T/ha de N y 10 T/ha de C) (Hernández-Hernández y López-Hernández, 1998). Sin embargo cuando el suelo es manejado de forma intensiva, el C y el N disminuyen aproximadamente en un 20% y el N de la biomasa microbiana en un 27%. Sin embargo, el flujo de C y de N en el suelo bajo cultivos con sistemas conservacionistas, es menor que cuando éste se maneja en forma convencional (Cuadro 6).

Cuadro 6. Flujo del C y N en la biomasa microbiana calculado según índice de Raubuch y Joergensen (2002), para distintos manejos de sabanas venezolanas

Manejo	Flujo de C-BM	Flujo de N-BM
	----- kg/ha año -----	
Suelo con Pinar- Uverito *	28	5
Suelo sabana control- Uverito	39	6
Suelo con SD- El Sombrero **	243	55
Suelo con LC- El Sombrero	248	66

C-BM: Carbono de la biomasa microbiana

N-BM: Nitrógeno de la biomasa microbiana

Datos para el cálculo tomados de Campos (1999)* y Hernández-Hernández y López-Hernández (1998)**

López-Hernández *et al.* (2000) muestran como el uso de estiércoles de gallina y cerdo en suelos de sabana del Amazonas, que pasaron a ser cultivados con policultivos de frutales, produjo un elevado incremento de la biomasa microbiana y del C total (97 y 142%, respectivamente). La actividad de la biomasa microbiana también aumentó en un 25%, y aunque el N total del suelo por este tipo de fertilizante rico en N, se incrementó en 109%, no se produjo un efecto positivo en el N inmovilizado en la biomasa microbiana, ya que éste disminuyó 19% respecto a lo inmovilizado en la biomasa microbiana de los suelos de las sabanas.

El efecto de un determinado tipo de manejo sobre la biomasa microbiana del suelo de sabana, puede

verse modulado por los fuertes contrastes de las estaciones de sequía y lluvia, típicas de los ecosistemas de sabana. En algunos casos como en suelos de las sabanas Orientales que pasan a ser cultivados con *Brachiarias* o con *Stylosantes* tienen un alto valor de biomasa microbiana en la época de lluvia, comparado con lo encontrado en la época seca (Gómez, 2004). Por el contrario en suelos de los Llanos Centrales (Hernández-Hernández y López-Hernández, 1998) y de los Llanos Centro Orientales (Hernández *et al.*, 2003), en cultivos de maíz con siembra directa, ya sea que no tengan coberturas asociadas o si están éstas presentes, los valores de biomasa siempre fueron más bajos en la época de lluvia que en la época seca. En estos casos una posible relación competitiva entre el maíz y la biomasa microbiana pudiera estarse presentando desfavorablemente para el desarrollo de los microorganismos del suelo, o podría estar ocurriendo un efecto negativo de los agroquímicos sobre la biomasa microbiana en esta época de lluvia.

¿Hacia dónde debe enfocarse la agricultura sostenible en las sabanas?

Considerando los aspectos mencionados con anterioridad, se desprende que el manejo de la materia orgánica, con vistas a favorecer el desarrollo de una biomasa microbiana, que permita un ciclaje más eficiente de nutrientes en cultivos producidos en suelos de sabanas, surge como una alternativa a considerarse prioritaria, toda vez que la misma también puede ejercer otros efectos positivos en la calidad del suelo, al modificar características importantes como la capacidad de intercambio catiónico, la estabilidad estructural, la infiltración de agua, etc.

Ningún manejo puede dejar de considerar como prioritario, realizar prácticas que lleven a una disminución de la acidez del suelo, ya de por sí elevada en condiciones naturales, ni tampoco los niveles de toxicidad de algunos elementos. Por otra parte, deben mejorarse o mantenerse las condiciones de estructura estable en el suelo, y disminuir los fuertes efectos de los cambios de humedad-sequía que conllevan a la activación de los procesos de erosión. Pero sin lugar a dudas, el manejo de la biología del suelo ya sea en forma directa o indirecta, constituye una de las prioridades para orientar los manejos de la sabana desde el punto de vista de los agroecosistemas.

Ahora bien, a pesar de lo considerado, la explotación agrícola de los suelos de sabana sigue dominada por aquellas prácticas menos amigables con la conservación del ambiente. Un estudio de Hernández-Hernández y Domínguez (2002), realizado en unidades de producción de cereal y ganado del Estado Guárico, muestran como hay una dominancia hacia el uso de monocultivos de cereales o de pastos con labranza intensiva (Cuadro 7).

Cuadro 7. Aspectos sociales-agronómicos y ambientales relacionados con unidades de producción de cereales y ganado del Estado Guárico

VARIABLES	%
Nivel de educación medio a bajo	75%
Siembra de pasto	80
Monocultivos	60
Rotación de cultivos o policultivos	5
Uso de Labranza Convencional	55
Uso de Siembra Directa	15
Disminución de producción	40
Erosión	30
Deforestación en los últimos 5 años	50
Producción de más de 3000 kg/ha	20

Fuente: Hernández-Hernández y Domínguez (2002)

Sin embargo, el 40% de los entrevistados señalan problemas de aumento de la erosión y de disminución de la producción, donde el 20% resaltan una producción de cereales menor de 3000 kg/ha, lo cual ha conducido a incrementar las áreas de deforestación. Este patrón de manejo de las mayorías de las unidades de producción, tiene un trasfondo socio-cultural, donde las pautas son transmitidas de generación en generación y aplicadas monolíticamente, independientemente de las condiciones ambientales en los que se desarrolla el agroecosistema.

Parte de la responsabilidad de que los sistemas más agroecológicos, que incluyen cultivos mixtos, uso de rocas fosfóricas, manipulación biológica, sean poco usados por los productores en suelos de sabana, pudiera deberse a que en los manejos conservacionistas no se observan resultados tangibles, éstos son a largo plazo y por tanto, no hay una relación de los beneficios con la producción en un corto tiempo. Aunado a esto, los costos no han sido estudiados, requiriéndose que se hagan estudios integrados del manejo agroecológico en sabanas, con análisis económicos que permitan discernir y dar a conocer los verdaderos costos/beneficios, que implican el uso de este tipo de manejos en las sabanas venezolanas.

Literatura citada

- Acevedo, D.** 2003. Producción primaria y acumulación de Nitrógeno en una pastura tropical bajo tratamientos de corte y fertilización. Tesis Doctoral Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Mérida. 228p.
- Campos, A.** 1999. Efecto de la siembra de *Pinus caribaea* L. En fracciones de materia orgánica de un suelo de sabana. Uverito-Edo. Monagas. Trabajo especial de grado. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. 84 p.
- Gómez, Y.** 2004. Parámetros bioquímicos y microbiológicos en los Llanos Orientales de Venezuela bajo diferente uso de la tierra y prácticas de manejo. Tesis Doctoral. Caracas, Venezuela. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. 197 p.
- Güerere, I.** 1992. Comparación de parámetros químicos, físicos y de la biomasa microbiana del suelo entre una sabana protegida del fuego y una sabana quemada anualmente. Trabajo especial de grado. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. 45 p.
- Hernández-Hernández, R.M., Z. Lozano, C. Bravo, B. Moreno y L. Piñango.** 2003. Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz-ganado en suelos del Estado Guárico. Mimeografiado. Caracas, Venezuela. Proyecto FONACIT-97001360. 257 p.
- Hernández-Hernández, R. M. y D. López-Hernández.** 2002. Mineralization and microbial biomass in savanna soil aggregates under two different types of tillage. *Soil Biology y Biochemistry*. 34:1563-1570.
- Hernández-Hernández, R. M. y D. López-Hernández.** 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales venezolanos. *INTERCIENCIAS*. 10: 529-536.
- Hernández-Hernández, R.M y C. Domínguez.** 2002. Efecto de prácticas agrícolas usadas en distintas unidades de producción de maíz sobre algunas propiedades bioquímicas de suelos de sabanas. *Agrobiológica* 1: 15-23.
- Hernández-Hernández, R.M., A. Florentino y D. López-Hernández.** 2000. Efecto de la siembra directa y la labranza convencional sobre la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agronomía Tropical*. 50 (2): 9-29.
- Hernández-Hernández, R.M. y D. López-Hernández.** 1998. Efecto de la intensidad de la labranza sobre diversas fracciones de la materia orgánica y la estabilidad estructural de un suelo de sabana. *Ecotrópicos*. 2(11): 69-82.

- López-Hernández, D., Hernández, L. López, A. Hernández, I.** 2000. Efecto de enmiendas orgánicas sobre las formas activas de la biomasa microbiana en suelos ácidos-arenosos de sabanas en el Amazonas Venezolano. Symposium in Soil functioning Under pastures in intertropical areas. Brasilia. CD-ROM.
- Luizao, R.C., T.A. Bonde y T. Rosswall.** 1992. Seasonal variation of soil microbial biomass the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. *Soil Biology y Biochemistry.* 24(8):805-813.
- Mazzarino, M.J., L. Szott, y M. Jiménez.** 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical ecosystems. *Soil Biology y Biochemistry.* 25:205-214.
- Padrino, M. y R.M. Hernández-Hernández.** 2003. Dinámica de la descomposición de raíces de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del Estado Guárico. In: *Memorias del V Congreso Venezolano de Ecología.* Margarita. Venezuela. pp: 17.
- Ramírez, E.** 2003. Efecto de diferentes tipos de coberturas vegetales, en el contenido de macro y micronutrientes, en cultivos de maíz bajo siembra directa. Trabajo especial de grado. Caracas, Venezuela. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. 98 p.
- Raubuch, M. y R. Joergensen.** 2002. C and N mineralisation in a coniferous forest soil: the contribution of the temporal variability of microbial biomass C and N. *Soil Biology y Biochemistry.* 34: 841-849.
- Stein, M.** 1999. Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un ultisol de sabana, cultivado y pastoreado durante cuatro años con especies adaptadas. Trabajo Especial de Grado. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias.. 70 p.
- Theng, B., K. Tate y Ph. Sollins.** 1989. Constituents of organic matter in temperate and tropical soil. (Eds. Coleman, D., et al.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.* NifTAL Project Honolulu, Hawaii. pp 5-32.
- Wagner, H. y D. Wolf.** 1999. Carbon Transformations and soil organic matter formation. (Eds. Sylvia D. et al.) *Principles and applications of soil microbiology.* Prentice Hall. Inc. U.S.A. pp. 218-258.