

Barbechos mejorados con leguminosas: una promisoriosa alternativa agroecológica para el manejo alelopático de malezas y mejoramiento del cultivo de arroz y maíz en los Llanos de Colombia

Legume improved fallows: a promissory agroecological alternative for allelopathic weed control in rice and maize crops in the Colombian Eastern Plains

Hernando Delgado H.^{1,4}, Gloria Elena Navas R.², Carmen Rosa Salamanca S.² y Adolfo Chacón D.³

RESUMEN

El manejo químico de malezas en arroz asciende hasta un 20% de los costos totales del cultivo, bajando así su rentabilidad. Buscando explorar alternativas de manejo, el presente trabajo evaluó el efecto de tres sistemas de labranza, cuatro barbechos mejorados con leguminosas, el barbecho nativo y tres dosis de herbicidas, sobre la densidad total de malezas resurgentes dentro de los cultivos, algunas propiedades del suelo y el rendimiento del arroz y el maíz. El ensayo se llevó a cabo en el Centro de Investigación La Libertad (Villavicencio) y en dos fincas en la zona del Ariari, bajo un diseño experimental de parcelas subdivididas con tres repeticiones. *Mucuna deeringianum* (Bort.) Smal presentó los más fuertes efectos alelopáticos, con porcentajes promedio de control de malezas –adicionales al efecto de los herbicidas– entre 41 y 62%; seguida de *Crotalaria ochroleuca* G. Don, con porcentajes de control entre 27 y 46%. Por esta razón, dosis de herbicidas reducidas al 70% de las comerciales mostraron adecuados niveles de control. Es así que los rendimientos de arroz seco favorecido y maíz en la zona del Ariari llegaron a ser incluso superiores a los obtenidos con dosis completas de herbicidas, aunque sin mostrar diferencias significativas. Ambas leguminosas aumentaron el rendimiento del arroz seco favorecido hasta en 1.446 kg ha⁻¹, y mejoraron algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, en tanto que únicamente *C. ochroleuca* incrementó la producción de maíz en 331 kg ha⁻¹. Los múltiples e integrales beneficios agronómicos obtenidos con el uso de un período de barbecho mejorado muestran su potencial para el manejo alelopático de malezas, y como práctica agroecológica en cultivos de arroz y maíz.

Palabras clave: leguminosas de cobertura, cultivos anuales, manejo integrado de malezas.

ABSTRACT

Chemical weed control in rice reaches up to 20% of total crop costs, therefore reducing profitability. Seeking for management alternatives, the present research assessed the effect of three plowing and four legume improved fallow systems, a native fallow and three herbicide doses on resurging crop weeds, rice and maize yield and some soil properties. The experiment was carried out at Research Center 'La Libertad', in the city of Villavicencio, and in two farms in the Ariari river region, by means of a sub-split plot design with four repetitions. The strongest allelopathic effects were exhibited by *Mucuna deeringianum* (Bort.) Smal, with additional to herbicide weed control percentages ranging from 41 to 62%; followed by *Crotalaria ochroleuca* G. Don (20 to 46%). In the Ariari research site, such performance allowed obtaining higher (although not significant) maize and favored upland rice yields than those reached with full herbicide commercial doses; while reducing the latter by 30%, and still attaining adequate weed control. Both cover crops increased rice yield up to 1,446 kg ha⁻¹, while only *C. ochroleuca* increased maize yield in 331 kg ha⁻¹. The multiple and integrated agronomic benefits of fallow improvement periods highlight their potential for allelopathic weed control, and as an agro ecological practice in rice and maize crops.

Key words: legume cover crops, annual crops, weed integrated management.

Introducción

En cultivos como el arroz en los Llanos Orientales, el control químico de las malezas participa con hasta un 20% o más de los costos de producción.

A las altas poblaciones de malezas nocivas interfiriendo con los cultivos anuales en los Llanos, caso de la “Caminadora” *Rottboellia cochinchinensis* L.F. y la “Falsa Caminadora”

Fecha de recepción: 12 de agosto de 2008. Aceptado para publicación: 2 de julio de 2009

¹ Grupo Manejo Biológico de Cultivos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia).

² Centros de Investigación La Selva y La Libertad, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Rionegro y Villavicencio (Colombia).

³ Unidad de Asistencia Técnica, Centro Provincial Agroparques, Villavicencio (Colombia).

⁴ Autor de correspondencia. hernando.delgado@uptc.edu.co

Ischaemum rugosum Salisb., ha contribuido su libre crecimiento y alta producción de semillas en los periodos entre cultivos, acrecentando cada día más su banco de semillas latentes en el suelo, así como el sembrar continuamente, semestre tras semestre por muchos años, con insuficientes, inadecuados y no planeados periodos de barbecho, lo que ha ocasionado la degradación física, química y biológica de los suelos.

Los barbechos mejorados con plantas leguminosas (Haggar *et al.*, 2000) recuperan más rápidamente la fertilidad de los suelos que los barbechos nativos, y con algunas leguminosas, por su vigoroso crecimiento y efectos alelopáticos sobre semillas de malezas en germinación, pueden contribuir a disminuir sus poblaciones.

Pequeños agricultores en Centroamérica usan prácticas tradicionales de control de malezas, con las leguminosas *M. deeringianum* y *Canavalia* spp. como cultivos de cobertura. Siembran un segundo ciclo de maíz en la temporada seca sobre la cobertura del “frijol terciopelo” o *M. deeringianum*, que dejan crecer durante seis meses después de haberla sembrado intercalada con un maíz anterior en época de floración. Esta ahoga casi todas las malezas y es muy fácil de cortar. Han recuperado tierras degradadas, reducido el uso de fertilizantes químicos en un 80%, aumentado en un 300% el rendimiento de maíz, y sus costos de producción son 22% menores que los de agricultores que usan fertilizantes químicos y monocultivos (Buckles, 1993; Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Altieri y Nicholls, 2002).

M. deeringianum se usó exitosamente en Urabá, Colombia, para controlar la maleza *Imperata contracta* o “Guayacana”, duplicando el rendimiento posterior del cultivo de maíz (Van Eijk-Bos *et al.*, 1987). En Brasil, *Mucuna aterrima* es recomendada como cobertura en sistemas de siembra directa, y se reporta su efecto alelopático sobre *Cyperus rotundus* o “Coquito” y muchas otras especies de malezas (Lorenzi, 1984). En el Cerrado brasileño, *Canavalia brasiliensis* y *Mucuna pruriens* presentaron buenos resultados en control de malezas, esta última por su alta velocidad inicial de crecimiento (Carvalho y Sodré-Filho, 2000).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto sobre la resurgencia de poblaciones de malezas dentro de los cultivos siguientes de arroz y maíz, sobre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo y sobre el rendimiento de los cultivos principales, de un periodo precedente de barbecho mejorado de nueve meses con cuatro coberturas leguminosas, en comparación con el barbecho nativo espontáneo, combinado con tres tipos de labranza y tres dosis

de herbicidas para el manejo de los cultivos principales, en un suelo oxisol de terraza alta del C.I. La Libertad en Villavicencio y en dos fincas de productores de arroz y maíz en suelos inceptisoles (vega y vegón, respectivamente) de la zona del Ariari en Granada, Meta. El mismo se justificó en la necesidad de buscar prácticas biológicas alternativas de manejo de malezas, ante el alto costo económico y ambiental de su control exclusivamente químico, así como evaluar el efecto de barbechos mejorados con leguminosas sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos de arroz y maíz en los Llanos Orientales.

Materiales y métodos

En las poblaciones iniciales de malezas, aunque tendían a prevalecer las dicotiledóneas, las malezas más nocivas y de más costoso control químico en los Llanos son las gramíneas, que estaban en segundo lugar en porcentaje en las localidades 1 y 2 donde se evaluó el cultivo de arroz, con 37,0 y 34,3%, respectivamente. En la localidad 1, entre las gramíneas predominaba “Caminadora” *R. cochinchinensis*, mientras que en la localidad 2, un 40% de estas correspondía a “Falsa Caminadora” *I. rugosum*, un 25% a “Caminadora” y un 35% a otras gramíneas. En la localidad 3, donde se evaluó el cultivo de maíz, por el contrario, las gramíneas presentaron baja población, predominando las hojas anchas y ciperáceas.

Se establecieron barbechos mejorados con cuatro leguminosas: *Crotalaria juncea* L., *Crotalaria ochroleuca* G. Don, *Mucuna deeringianum* (Bort.) Smal nombre común “Vitabosa” o “Frijol terciopelo” y *Canavalia ensiformis* (L.) DC, en comparación con el barbecho nativo espontáneo, con preparación convencional, fertilización baja de 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O y dosis baja de herbicida de 2,0 L ha⁻¹ de pendimetalín. Las dos *Crotalaria*s, en surcos a 30 cm con 30 kg ha⁻¹ de semilla. *Canavalia*, a 50 cm entre surcos y 40 cm entre plantas con 65 kg ha⁻¹, y *Vitabosa*, a 60 cm entre surcos y entre plantas con 30 kg ha⁻¹ de semilla. Estos cubrieron el suelo durante un periodo de nueve meses hasta ser desbrozados antes de la preparación y siembra de los cultivos principales de arroz y maíz.

Se utilizó un diseño de parcelas subdivididas y tres repeticiones, con tres sistemas de labranza en la parcela principal: labranza cero o siembra directa, reducida con cincel rígido y convencional (rastra + pulidor) para el arroz y el maíz; cinco tipos de barbecho precedente en las subparcelas y tres dosis de herbicidas (Cero herbicidas, 70% de dosis comercial y 100% de dosis) en los cultivos de arroz y de maíz en las subsubparcelas. Las unidades experimentales fueron

de 1.160 m² para los sistemas de labranza, 232 m² para los tipos de barbecho y 32, 99 y 99,00 m² para las tres dosis de herbicidas, respectivamente, y un área total de 10.400 m² (1,04 ha) por localidad.

Los cultivos y los herbicidas (ingredientes activos) y dosis comerciales utilizadas en cada localidad fueron:

Localidad 1: C.I. La Libertad. Villavicencio. Arroz de sabana, Variedad Corpoica Llanura 11:

- Preemergente: 4,0 L ha⁻¹ de pendimetalín
- Postemergente: 7,0 + 3,5 + 0,3 L ha⁻¹ (propanil + butaclor + ioxinil)

Localidad 2: Finca “Bella Vista”, Vereda “Dos Quebradas”. Municipio de Granada. Arroz seco favorecido, Variedad Progreso 4-25:

- Preemergente: 4,0 + 4,0 + 0,35 L ha⁻¹ (pendimetalín + butaclor + ioxinil)
- Postemergente: 7,0 + 2,0 + 0,25 L ha⁻¹ (propanil + butaclor + ioxinil)

Localidad 3: Finca “El Guacimal”, Vereda “Los Andes”. Municipio de Granada. Maíz, Híbrido Pioneer 3041:

- Post-temprano: 4,0 + 2,0 L ha⁻¹ (pendimetalín + atrazina)

A partir de estas dosis completas se determinaron las del tratamiento de 70% de dosis comercial, tanto en preemergentes como en posemergentes. La fertilización de los cultivos de arroz y maíz fue constante según niveles críticos de nutrientes en análisis químico de suelos. Se establecieron luego del periodo de nueve meses de cobertura de los barbechos y posterior a su desbrozado y su dejado en superficie o incorporación, según el sistema de labranza evaluado.

Como variables dependientes se evaluaron:

- Las poblaciones totales de malezas resurgentes (gramíneas, dicotiledóneas, ciperáceas y conmelináceas) dentro de los cultivos de arroz y maíz mediante conteos de las mismas en estado de desarrollo de 2-4 hojas, en tres marcos al azar de 1 m² en cada uno de los tratamientos, después de la aplicación de las dosis de herbicidas, y a los 76, 90 y 62 d, respectivamente, en las localidades 1, 2 y 3, después de desbrozados o incorporados los barbechos.
- Los cambios físico-químicos y biológicos en los suelos debidos a los tratamientos en: resistencia mecánica

del suelo a la penetración de raíces con penetrómetro electrónico de cono, en tres puntos por tratamiento y hasta 40 cm de profundidad; contenidos de materia orgánica, bases intercambiables, elementos mayores y menores; cuantificación de actividad microbiana y de hongos heterótrofos del suelo, según García (1984); diversidad de hongos heterótrofos mediante cálculo del índice de Shannon e identificación de hongos aislados en suelo rizosférico mediante clave taxonómica (Barnett y Hunter, 1972).

- El rendimiento de grano al 14% de humedad del arroz y del maíz.

Para las variables población total de malezas resurgentes y rendimiento de los cultivos se efectuó análisis de varianza y determinación de diferencias entre medias con la prueba de Tukey mediante el sistema estadístico SAS®.

Resultados y discusión

Efecto de los sistemas de labranza

En las tres localidades, el promedio del número total de malezas/m² resurgidas dentro de los cultivos de arroz y de maíz y el rendimiento de grano, no presentaron diferencias significativas por efecto de este factor.

Efectos del tipo de barbecho precedente

En las tres localidades, todos los barbechos mejorados con leguminosas contribuyeron a reducir las poblaciones totales de malezas resurgidas dentro de los cultivos de arroz y de maíz, en comparación con el testigo barbecho nativo, en el cual el control de malezas sólo fue ejercido por las dosis de herbicidas, y presentó, en las tres localidades, la población total de malezas más alta. En las localidades 1 y 2 (arroz de sabana y arroz seco favorecido), los tratamientos provenientes de *M. deeringianum* y *C. ochroleuca* presentaron las poblaciones de malezas más bajas, con 248 y 256 malezas/m², respectivamente y con diferencia significativa respecto al barbecho nativo en la localidad 1 y con 140 y 199 malezas/m², respectivamente en la localidad 2, con diferencia significativa sólo para *M. deeringianum* (Fig. 1). Sí se interpreta este resultado como un mayor porcentaje de control adicional de malezas en comparación con el barbecho nativo, o sea con el control ejercido por los herbicidas, estos mismos tratamientos presentaron en la localidad 1, un 41 y 39% y en la localidad 2, un 62 y 46% de mayor control de malezas, respectivamente.

Se deduce que entre 75 y 90 d después de desbrozada o incorporada la biomasa de estas dos leguminosas, la liberación de aleloquímicos en su descomposición ejerció un

efectivo, alto y residual efecto alelopático sobre malezas gramíneas, ciperáceas y dicotiledóneas en su germinación, incluyendo las gramíneas “Caminadora” y “Falsa Caminadora”, dos de las malezas más limitantes agronómica y económicamente para el cultivo del arroz en los Llanos.

El control alelopático diferencial entre los suelos Oxisol de la localidad 1 e Inceptisol (vega) de la localidad 2, este último donde fue mayor (Fig. 1), puede deberse no sólo a la mayor producción de biomasa de las leguminosas en un suelo de mayor fertilidad, sino a otras diferencias de los suelos. El Inceptisol, por ejemplo, tenía mayores contenidos de materia orgánica y mayor CIC que el Oxisol (Tab. 1). Inderjit (2001) plantea que características como materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, iones inorgánicos y factores abióticos y bióticos del ambiente del suelo, influyen significativamente tanto en la actividad aleloquímica, como en la calidad y cantidad requeridas de los aleloquímicos para causar daño a las semillas de malezas en germinación.

Para el maíz en la localidad 3, *M. deeringianum* presentó la menor población total de malezas resurgentes (498 malezas/m²), con diferencia significativa respecto al barbecho nativo, y un 50% de mayor control respecto al promedio de las dosis de herbicidas. *C. ochroleuca*, *C. juncea* y *C. ensiformis* disminuyeron menos el número de malezas, sin diferencia significativa entre ellas, ni con el testigo (Fig. 1).

En las tres localidades, los barbechos mejorados con leguminosas contribuyeron también a incrementar el rendimiento de grano del arroz y maíz, respecto al testigo de barbecho nativo. El efecto más alto y significativo fue en arroz seco favorecido en la localidad 2 en el Ariari, donde *M. deeringianum* y *C. ochroleuca* lo incrementaron en 1.446 y 1.015 kg ha⁻¹, respectivamente, agronómica y económicamente muy significativo e importante. En maíz, el mayor incremento fue con *C. ochroleuca*, con 331 kg ha⁻¹ adicionales, aunque sin diferencia significativa (Fig. 2).

TABLA 1. Análisis químico inicial del suelo (promedio de cuatro profundidades 0 a 30 cm) en dos localidades de Meta, Colombia.

Localidad	pH	CICE	Ca	Mg	K	Al interc.	Acidez interc.	Satur. Al	Satur. Bases	Materia orgánica	P (mg kg ⁻¹)
		(meq/100 g)						(%)			
Localidad 1											
Oxisol	4,95	2,78	0,68	0,3	0,1	1,23	1,7	44,8	37,6	3,3	7,5
Localidad 2											
Inceptisol	5,20	6,05	4,81	0,6	0,2	0,3	0,5	4,71	91,9	4,4	18,0

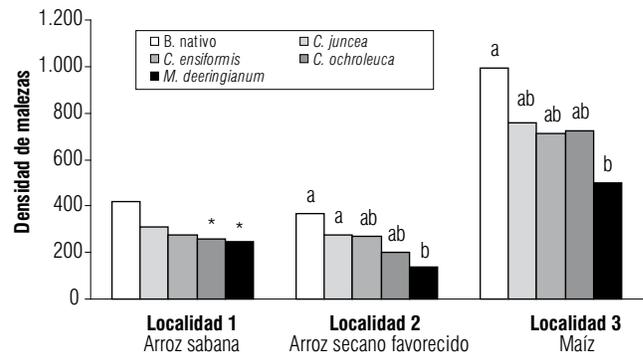


FIGURA 1. Efecto del tipo de barbecho antecedente sobre la densidad total de malezas dentro de cultivos posteriores de arroz y maíz en Meta, Colombia. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$). * Diferentes del barbecho nativo.

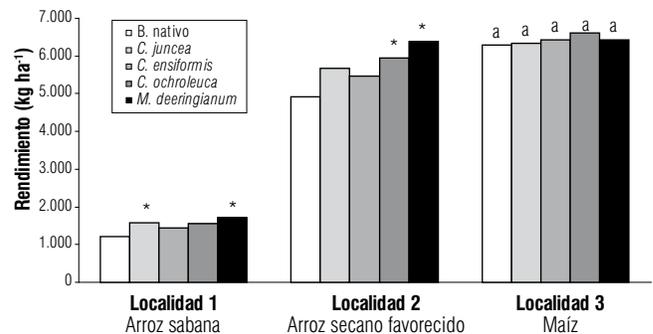


FIGURA 2. Efecto del tipo de barbecho antecedente en el rendimiento de los cultivos principales siguientes de arroz y maíz en tres localidades en Meta, Colombia. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$). * Diferentes del barbecho.

Efecto de las dosis de herbicidas

En las tres localidades, tipos de suelo y en los cultivos de arroz y maíz, gracias al efecto alelopático de las leguminosas, que actuó adicionalmente a los herbicidas aplicados, se manejaron adecuadamente poblaciones de malezas tan agresivas como las de la localidad 2 en el Ariari, con dosis reducidas al 70% de la comercial recomendada, con resultado muy cercano al obtenido con el 100% de dosis (Fig.

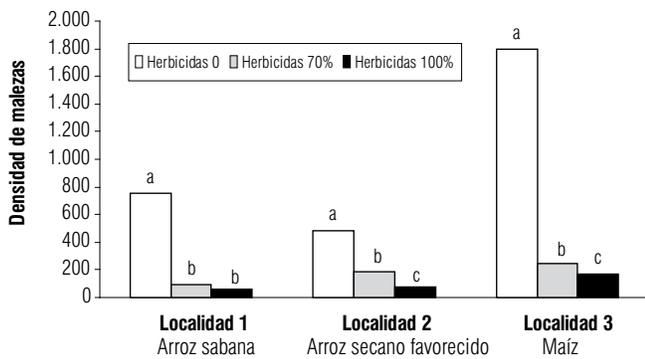


FIGURA 3. Efecto de la proporción de aplicación de herbicidas en la densidad total de malezas dentro de cultivos posteriores de arroz y maíz, gracias al control alelopático adicional de malezas de los barbechos mejorados. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba Tukey ($P \leq 0,01$).

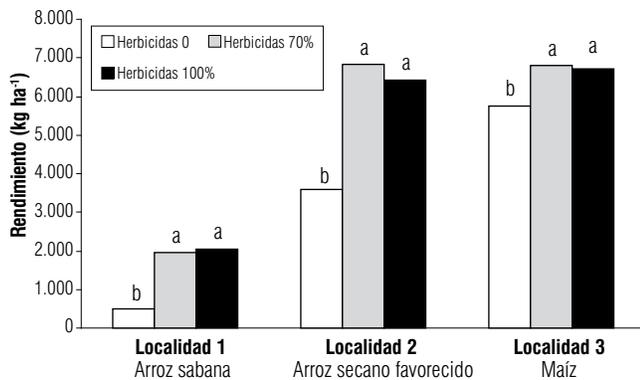


FIGURA 4. Efecto de las dosis de herbicidas en el rendimiento de los cultivos de arroz y maíz, gracias al control alelopático adicional de malezas de los barbechos mejorados en Meta, Colombia. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$).

3) y sin reducción significativa del rendimiento, e incluso con rendimientos superiores de arroz secoano favorecido y de maíz en las localidades 2 y 3, aunque sin diferencia significativa del obtenido con la dosis completa (Fig. 4).

Según el análisis de varianza, las interacciones dobles y la triple de los tres factores analizados no fueron significativas en las tres localidades.

TABLA 2. Densidad total de malezas por metro cuadrado en el tratamiento cero herbicidas de cada tipo de barbecho antecedente, dentro de cultivos posteriores de arroz y maíz en Meta, Colombia.

Barbecho antecedente	Localidad 1 Arroz sabana		Localidad 2 Arroz secoano favorecido		Localidad 3 Maíz	
	Densidad	% de control	Densidad	% de control	Densidad	% de control
B. nativo (T.)	970		727		2.345	
<i>C. juncea</i>	727	25,1	577	20,6	1.874	20,1
<i>C. ensiformis</i>	659	32,1	537	26,2	1.794	23,5
<i>C. ochroleuca</i>	624	35,7	345	52,5	1.779	24,1
<i>M. deeringianum</i>	430	55,7	237	67,4	1.195	49,1

Analizando la población total de malezas en el tratamiento cero herbicidas dentro de cada tipo de leguminosa, en comparación con el barbecho nativo, lo cual expresa el control ejercido exclusivamente por el efecto de los aleloquímicos liberados en la descomposición de su biomasa, se observa que en todas las localidades efectivamente *M. deeringianum* o “Vitabosa” presentó el mayor control alelopático de malezas, con un promedio efectivo incluyendo las tres localidades del 57% de la población total de malezas, seguida por *C. ochroleuca* con un 37% de control (Tab. 2).

Putnam y Duke (1974) y Rice (1979) ya encontraban que los aleloquímicos elaborados por las plantas se mantienen en sus tejidos incluso después de su muerte, y en la descomposición de su biomasa son liberados al suelo donde pueden afectar la germinación de semillas o el desarrollo de plántulas de otras especies. La intensidad del efecto alelopático depende de la calidad y cantidad de los aleloquímicos liberados.

Almeida (1991) encontró que, algunas veces, las coberturas vegetales muertas aparentan prolongar la eficacia de los herbicidas, especialmente los preemergentes. Pero en realidad no es así. Cuando la acción residual de los herbicidas es más corta que la del efecto alelopático de la cobertura, el suelo se mantiene con una baja densidad de malezas, pero no por acción de los herbicidas, sino por la acción alelopática de la cobertura. Esto lo observó en maíz sembrado sobre diversas coberturas muertas y con aplicación de herbicida preemergente alachlor + atrazina. Esta observación en Brasil, coincide plenamente con el efecto observado en el presente trabajo en los Llanos de Colombia, especialmente con *M. deeringianum* y *C. ochroleuca*.

En México, *M. deeringianum*, *C. ensiformis*, *L. leucocephala* y *L. latisiliquum* redujeron el crecimiento de malezas, pero *M. deeringianum* produjo la mayor reducción de biomasa de malezas con un 68%. Las leguminosas también mejoraron el rendimiento del maíz durante los primeros dos años del experimento. El potencial efecto alelopático de

M. deeringianum se demostró claramente tanto *in vitro*, como en invernadero y en campo (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001).

Es ya conocido que el principal agente alelopático de *M. deeringianum* es L-Dopa, y también en esta y otras leguminosas usadas como cultivos de cobertura, varios aminoácidos poco comunes han sido encontrados (Fujii, 1999). L-Dopa o dihidroxifenilalanina está presente en la planta en 0,5 a 1,5% de peso verde. Aislado presenta poco efecto. Como *Mucuna* produce entre 20 a 30 t ha⁻¹ de biomasa verde, significan 200-300 kg ha⁻¹ de L-Dopa, lo que hace posible que este producto sea de mayor importancia para el manejo de malezas. Algunos autores recomiendan cultivar *Mucuna* por más de un año para percibir la reducción de infestación de malezas (Narwal, 1994).

Duke (2001), reconoce que “plantas de cobertura alelopáticas pueden ser usadas en campo para una gran reducción del uso de herbicidas”. Narwal (1999) afirma incluso que los cultivos de cobertura no ejercen un 100% de control pero pueden reducir las malezas a niveles que no causen daños económicos y así poder usar herbicidas sólo como complemento de manejo. Teasdale (2004) resalta también la importancia y las opciones del uso de los cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas para desarrollar sistemas ecológicos de manejo de malezas.

El periodo de nueve meses se usó por referencias anteriores, como la de Van Eijk-Bos *et al.* (1987) que utilizaron exitosamente *M. deeringianum* para controlar *Imperata contracta* en periodos de cinco a nueve meses y de otros como Narwall (1994), que recomiendan periodos de un año o más. No obstante, *M. deeringianum* en los Llanos florece y produce su semilla gradual y escalonadamente desde aproximadamente los 6-7 meses después de siembra, y estas presentan algún nivel de latencia temporal por impermeabilidad de su testa, lo que hace que al caer al suelo o ser incorporadas en la preparación con maquinaria, germinen también escalonadamente y puedan competir, dado su crecimiento vigoroso y agresivo, con el cultivo principal siguiente. Esto sugiere que, para evitarlo, no se deben recomendar periodos de cobertura mayores a 6-7 meses, o si se usan, se deben quitar las plántulas espontáneas. Para *C. ochroleuca* no se observó ningún limitante en cuanto a latencia de sus semillas y posibilidad de interferencia con el cultivo siguiente.

M. deeringianum tiene la gran ventaja de su rusticidad, tolerancia a toxicidad de aluminio y baja exigencia en nutrientes, tolerancia tanto a sequía (toleró el periodo de verano) como a suelos húmedos, acumulación gradual y continua

de hojarasca o biomasa en el suelo, vigoroso crecimiento y cubrimiento rápido por su hábito rastrero, que le dan ventajas competitivas desde el inicio de su desarrollo, aun sobre malezas nocivas tan agresivas como “caminadora” y “falsa caminadora”, y luego por su alto poder alelopático en la descomposición de su biomasa acumulada. Estas propiedades la hacen útil para todo tipo de suelos, incluso con problemas muy acentuados de malezas de alta agresividad, como los de la región del Ariari. En el caso de *C. ochroleuca* esta tolera menos los suelos mal drenados, su vigor de crecimiento inicial es bajo, y por tanto también su capacidad inicial de competencia con malezas agresivas.

Efecto de barbechos mejorados con leguminosas sobre características físico-químicas y biológicas del suelo

Se reportan sólo los cambios más sobresalientes. Los mayores cambios físico-químicos promedio de dos repeticiones y de muestreo a cuatro profundidades (5, 10, 20 y 30 cm), se observaron precisamente en el Inceptisol de la localidad 2 en el Ariari en arroz seco favorecido, y se muestran en la Fig. 5 y Tab. 3, coincidiendo con los mayores aumentos de rendimiento. También, en el Oxisol de la localidad 1 hubo un alto incremento del azufre (S en mg kg⁻¹) de 51,7% con *C. ochroleuca*. En la localidad 3, para el siguiente cultivo de maíz, altos incrementos de todas las leguminosas en el boro (B en mg kg⁻¹) de 19,1; 44,7; 51,0 y 69,1% con *C. ochroleuca*, *M. deeringianum*, *C. juncea* y *C. ensiformis*, respectivamente, e incrementos de 19,0, 19,8, 15,4 y 12,2% en los contenidos de K, Ca, S y Zn, también respectivamente, en relación con los contenidos de estos en el tratamiento testigo barbecho nativo.

En la localidad 2 en el Ariari, todas las leguminosas contribuyeron a disminuir la resistencia mecánica del suelo a la penetración de raíces del arroz, respecto del barbecho nativo en el que se mantuvo siempre más alta, entre 1,5 y 3,4 MPa desde los 5 hasta los 40 cm de profundidad. La leguminosa con tendencia más constante a mantener valores bajos de resistencia fue *C. ochroleuca*, entre 0,6 y 1,7 MPa hasta los 32 cm de profundidad (Fig. 5), condición física muy favorable para el adecuado desarrollo de raíces del arroz y exploración de un mayor volumen de suelo, lo que seguramente contribuyó a su alto incremento en rendimiento.

En la Tab. 3 y a continuación se reportan los principales cambios químicos observados en el suelo Inceptisol de la localidad 2. Todas las coberturas leguminosas contribuyeron con importantes incrementos en el contenido de materia orgánica del suelo, de hasta un 33,3%, especialmente con *C. ochroleuca*, *M. deeringianum* y *C. ensiformis*.

TABLA 3. Incrementos en materia orgánica y nutrientes, respecto al barbecho nativo, por efecto de un periodo de barbecho mejorado con leguminosas en un Inceptisol, localidad 2. Granada, Meta, Colombia.

Barbecho antecedente	Ca meq/100 g	Incremento %	Mg meq/100 g	Incremento %	K meq/100 g	Incremento %	Zn mg kg ⁻¹	Incremento %	Materia Orgánica %	Incremento %	P mg kg ⁻¹	Incremento %
B. nativo (T.)	0,67		0,23		0,1		1,9		2,1		25	
<i>C. juncea</i>	0,72	7,5	0,26	13	0,1	0	2,5	31,6	2,4	14,3	36	44
<i>C. ochroleuca</i>	0,80	19,4	0,29	26,1	0,11	10	2,3	21,0	2,8	33,3	28	12
<i>M. deeringianum</i>	0,73	8,9	0,28	21,7	0,14	40	2,5	31,6	2,7	28,6	35	40
<i>C. ensiformis</i>	0,79	17,9	0,31	34,8	0,11	10	3,5	84,2	2,7	28,6	31	24

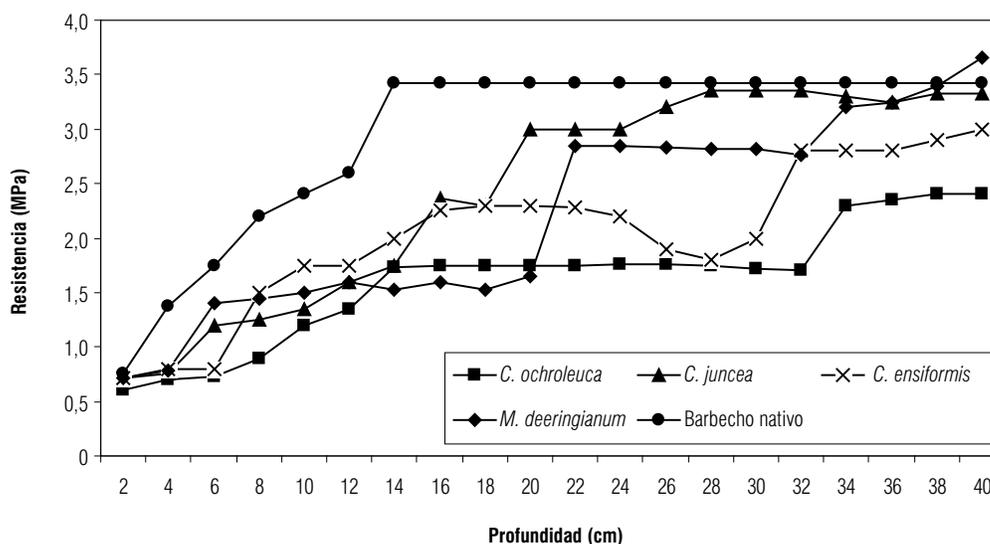


FIGURA 5. Efecto de los barbechos mejorados con leguminosas, frente al barbecho nativo, sobre la resistencia del suelo a la penetración de raíces del cultivo del arroz en la Localidad 2. Granada, Zona del Ariari, Colombia. Suelos con 23,8% de humedad.

Igualmente, todas las leguminosas precedentes incrementaron el contenido del P en el suelo en comparación con el testigo barbecho nativo, especialmente en el caso de *C. juncea* y *M. deeringianum* y el del K, especialmente en *M. deeringianum*. Todas aumentaron los contenidos de Ca, especialmente *C. ochroleuca* y *C. ensiformis* y el de Mg con mayores porcentajes en *C. ensiformis*, *C. ochroleuca* y *M. deeringianum*. Las leguminosas *C. ensiformis*, *M. deeringianum* y *C. ochroleuca* contribuyeron a aumentar el contenido de Zn en el suelo, en 84,2; 31,6 y 21,0%, respectivamente.

También en el Inceptisol de la localidad 2, la actividad biológica de los microorganismos, que en el barbecho nativo fue de 112 kg ha⁻¹ de CO₂, aumentó con las leguminosas *C. ensiformis* y *C. juncea* a 127 y 122 kg ha⁻¹ de CO₂, respectivamente. Además, la mayor diversidad de hongos, según índice de Shannon, se presentó con *M. deeringianum* y *C.*

ensiformis con 81 y 72%, respectivamente, predominando los géneros *Aspergillus* sp., *Clamydomices* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Gliocephalis* sp., *Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp. De estos, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Trichoderma* y *Penicillium* han sido reportados como hongos solubilizadores de fosfatos (Pérez *et al.*, 2005) y pueden haber contribuido a los incrementos del fósforo en este suelo. En el Oxisol de la localidad 1, la mayor diversidad de hongos se presentó con *C. ochroleuca* con 86%, y predominaron, además de los mismos géneros de la localidad 2, *Cephalosporium* sp. y *Verticillium* sp.

Todos estos efectos benéficos coinciden con múltiples reportes de mejoramiento integral del suelo obtenido con el uso de plantas leguminosas en sistemas agrícolas (Alvarenga *et al.*, 1993; Delgado y Alarcón, 1997; Navas y Delgado, 1997; Amabile *et al.*, 1997; Delgado, 1998; Alegre *et al.*, 2000; Delgado *et al.*, 2003).

También coinciden con que, en diversos escenarios a nivel mundial y más recientemente, se reporta que los sistemas de cero labranza o siembra directa complementados con la inclusión de leguminosas como abonos verdes en la rotación, incrementan el secuestro de carbono en el suelo, posibilitan el remplazo de fertilizantes inorgánicos, aumentan la fertilidad del suelo y los rendimientos de los cultivos, contribuyendo con mejoramiento en nivel de vida y seguridad alimentaria de los productores (FAO, 2002; FAO, 2007).

Conclusiones

En general, *M. deeringianum* y *C. ochroleuca* manifestaron los más altos efectos alelopáticos, contribuyendo a reducir la densidad total de todo el complejo de malezas resurgentes, incluidas las gramíneas “caminadora” y “falsa caminadora”, dos de las malezas nocivas y de más costoso control químico en los Llanos, mostrando el uso de barbechos mejorados con estas dos leguminosas, como una práctica agronómica promisoría para ser utilizada en planes de manejo integrado de malezas y de cultivos anuales, y que podría contribuir a reducir gradualmente los altos costos económicos del manejo exclusivamente químico de malezas.

El buen efecto alelopático observado con *C. ochroleuca*, en un grado un poco menor que el de *M. deeringianum*, es de gran relevancia agronómica, y por primera vez que se reporta a nivel internacional. Es importante realizar investigaciones adicionales para comprobar si periodos de barbecho más cortos con estas dos leguminosas, por ejemplo de cuatro a seis meses, serían suficientes y efectivos para ejercer un control alelopático adecuado de malezas.

Debido al efecto alelopático de las leguminosas en el suelo, que actuó adicionalmente al efecto de los herbicidas, fue posible controlar adecuadamente las malezas con dosis de herbicidas pre y posemergentes reducidas al 70% de las dosis comerciales y sin disminuir el rendimiento de los cultivos de arroz y maíz, con beneficios económicos y ambientales.

Los incrementos en el contenido de materia orgánica del suelo Inceptisol del Ariari obtenidos con *M. deeringianum* y *C. ochroleuca* son agronómica y ecológicamente muy importantes, pues al constituir un mecanismo de captura de carbono, como se ha evidenciado a nivel mundial (FAO, 2002; FAO, 2007), se constituye en una opción real y práctica a largo plazo, que contribuye a reducir las emisiones netas de CO₂ a la atmósfera y a atenuar el calentamiento global, el cambio climático y sus potenciales efectos desastrosos.

Las leguminosas *M. deeringianum* y *C. ochroleuca* fueron las que más contribuyeron al mejoramiento integral físico, químico y biológico, principalmente en el Inceptisol del Ariari, propiciando un mejor ambiente ecológico del suelo y el alto incremento en rendimiento de grano del cultivo del arroz.

Agradecimientos

Al Programa Nacional de Transferencia de Tecnología, Pronatta del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, por la cofinanciación de esta investigación.

Literatura citada

- Alegre, J., A. Meza y L. Arévalo. 2000. Establecimiento de barbechos con leguminosas. *Agrofor. Am.* 27, 31-33.
- Almeida, F.S. 1991. Controle de plantas daninhas em plantío direto. Fundacao Instituto Agronómico do Paraná, Iapar. Circ. 67. Londrina, Brasil.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2002. Una perspectiva agroecológica para una agricultura ambientalmente sana y socialmente más justa en la América Latina del siglo XXI. Instituto Nacional de Ecología, México. En: Semarnat, <http://www.ine.gov.mx/publicaciones/libros/363/cap12.html>; consulta: julio de 2009.
- Alvarenga, R., L. Costa, W. Moura-Filho y A. Regáis. 1993. Potencialidades de adubos verdes para conservacao e recuperacao de solos. pp. 101-102. En: Resumos 24 Congresso Brasileiro de Ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, Brasil.
- Barnett, H. y B. Hunter. 1972. Lustrated genera of imperfect fungi. 3a ed. Burgess Publishing Company. Minneapolis, MN.
- Buckles, D. 1993. La revolución de los abonos verdes. *Pasos* 5, 30-33.
- Caamal-Maldonado, J., J. Jiménez-Osornio, A. Torres-Barragán y A. Anaya. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron. J.* 93, 27-36.
- Carvalho, A.M. y J. Sodré-Filho. 2000. Uso de adubos verdes como cobertura do solo. Embrapa, CPAC, Bol. Inv. 11. Planaltina, Brasil.
- Carvalho, A.M., R.F. Amabile, J. Pereira, A.M. Carvalho y A.C. Gomes. 1997. Produ o de fitomassa e exporta o de nutrientes pela parte aérea em genótipos de *Mucuna*.(CD) En: 26 Congresso brasileiro de ciencia do solo, Informacao, globalizacao, uso do solo: anais, Sociedade Brasileira de Ci ncia do Solo. Rio de Janeiro, Brasil.
- Delgado, H. 1998. Rotaciones de cultivos y pasturas transitorias en sistemas sostenibles para suelos ácidos de sabanas. *Cuadernos de Agronomía* 3(4), 53-62.
- Delgado, H. y H. Alarcón. 1997. Efecto de la incorporación de caupi (*Vigna unguiculata* L.) como abono verde sobre la eficiencia del arroz en el uso de fósforo en un Oxisol de la Altillanura Plana Colombiana. *Suelos Ecuat.* 27, 86-90.
- Delgado, H., G. Navas, C. Salamanca y J. Bernal. 2003. El uso de coberturas leguminosas: alternativa para el manejo integrado

- de malezas y mejoramiento de suelos agrícolas. Corpoica-Pronatta. Bol. Tec. 35. Villavicencio, Colombia.
- Duke, S. 2001. Weed management based on natural products. pp. 49-55. En: Memorias, XV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas. Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. 26-30 de noviembre. Maracaibo, Venezuela.
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. En: FAO. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 96. Roma.
- FAO. 2007. Secuestro de carbono en tierras áridas. pp. 111-120. En: FAO. Informes sobre recursos mundiales de suelos, No. 102. Roma.
- Fujii, Y. 1999. Allelopathy of hairy vetch and *Mucuna*: their application for sustainable agriculture. pp. 289-300. En: Chou C.H., G.R. Waller y C. Reinhardt (eds.). Biodiversity and allelopathy: from organisms to ecosystem in the Pacific. Academia Sinica. Taipei, Taiwán.
- García, T. 1984. Experimentos en microbiología del suelo. Editorial Continental, México.
- Haggar, J.P., G. Uribe, J.G. Granel y A. Ayala. 2000. Barbechos mejorados en la península de Yucatán. Agrofor. Am. 7(27), 19-24.
- Inderjit. 2001. Soil: environmental effects on allelochemical activity. Agron. J. 93, 79-84.
- Lorenzi, H. 1984. Inibicao alelopática de plantas daninhas. pp. 183-198. En: Fundacao Cargill. Adubacao verde no Brasil. Fundacao Cargill, Campinas, Brasil.
- Narwal, S. 1994. Exploitation of allelopathy for crops production. pp. 162-217. En: Narwal, S.S. (ed.). Allelopathy in crop production. Scientific Publishers, Jodhpur, India.
- Narwal, S.S. 1999. Allelopathy in weed management. pp. 203-254. En: Narwal S.S. (ed.). Allelopathy update. Basic and applied aspects. Scientific Publishers. Vol. 2. Enfield, NH.
- Navas, G. y H. Delgado. 1997. Potencialidad del uso de los abonos verdes en el mejoramiento de suelos de los Llanos Orientales. Corpoica; SENA. Bol. Tec. 4. Villavicencio, Colombia.
- Pérez, A., C. Pérez y G. Cardona. 2005. Hongos solubilizadores de fosfatos en suelos arroceros de La Mojana, Sucre - Colombia. Arroz 53(458), 22-31.
- Putnam, A. y W. Duke. 1974. Biological suppression of weeds: evidence of allelopathy in accessions of cucumber. Sci. 185, 370-372.
- Rice, E. 1979. Allelopathy-an update. Bot. Rev. 45(1), 15-109.
- Teasdale, J. 2004. Principios y prácticas para el uso de cultivos de cobertura en el manejo de sistemas de malezas. En: Labrada, R., J.C. Caseley y C. Parker (eds.). Manejo de malezas para países en desarrollo. FAO; ONU, <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s00.HTM>; consulta: febrero de 2009.
- Van Eijk-Bos, C., L.A. Moreno y L.E. Vega. 1987. Recuperación de tierras invadidas por *Imperata contracta* (H.B.K.) Hitch, a partir de la incorporación de la leguminosa *Mucuna deeringianum* (Bort.) Smal en Urabá-Colombia. Convenio CONIF-Holanda-Corporaba. Bol. Conif Informa 8. Bogotá.