CAPÍTULO 4

Culticore, Ensayo de Largo Plazo para el Desarrollo de Sistemas de Producción Sostenibles en Suelos Ácidos de Sabanas

D. Friesen[1], *E. Amézquita*[2], *I. M. Rao*[3] y *J. H. Bernal*[4]

Resumen

Culticore, ensayo colaborativo entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), fue establecido en el Centro Nacional de Investigación (CNI) en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia (4° 37′ N, 71° 19′ O y 175 m.s.n.m.), en suelos de baja fertilidad, textura franco arcillo limosa clasificados como Typic Haplustox Isohipertérmicos caoliníticos, para el desarrollo de sistemas de producción sostenible en Oxisoles de los Llanos Orientales. Este ensayo se realizó entre 1993 y 2001 y comprendió dos fases: en la Fase I, iniciada en 1993 y evaluada durante 5 años, la estrategia consistió en la selección de sistemas extremos de producción, tales como sistemas en monocultivo de arroz y maíz y establecimiento de pasturas mejoradas mediante cultivos (arroz-*Brachiaria humidicola*-leguminosas y maíz-*Panicum maximum*-leguminosas). Estos sistemas de producción extremos se utilizaron para comparar entre las alternativas menos y más adecuadas, respectivamente. Además se evaluaron opciones intermedias en sistemas de rotación con leguminosas, tanto para producción de grano como para incorporación como abono verde (arroz-caupí y maíz-soya) y la sabana nativa como control. La selección de los sistemas se basó en la tolerancia de los componentes a la acidez en el suelo; por consiguiente, se consideró la aplicación de dosis variables de cal, 500 y 2000 kg/ha, para sistemas basados en los cultivos de arroz y maíz, respectivamente. Todos los sistemas se manejaron para optimizar la producción y minimizar la degradación del suelo. Se utilizaron prácticas de conservación de residuos de cosechas, mantenimiento de los niveles de fertilidad en el suelo, y se realizó control de enfermedades, plagas y malezas. En forma periódica se realizaron mediciones y observaciones de las propiedades físico-químicas del suelo y se evaluó el impacto de los cambios en la productividad de los sistemas, en el uso eficiente de los recursos e insumos y en el ambiente. En la Fase II se evaluó el efecto residual

1. Química de suelos/Agronomía, Consultor Internacional, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Addis Ababa, Etiopía. d.friesen@cgiar.org
2. Física de suelos, Consultor Internacional. eamezquitac@gmail.com
3. Fisiología y Nutrición de plantas, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. i.rao@cgiar.org
4. Fisiología vegetal, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), C.I. La Libertad, Villavicencio, Colombia. jhbernal@corpoica.org.co

del establecimiento de sistemas agropastoriles de la Fase I, mediante sistemas de labranza de conservación que incluyeron labranza cero y labranza mínima en sistemas de arroz y maíz en rotación con soya. Se hizo énfasis en la aplicación de estrategias para el establecimiento y mantenimiento de capa arable para asegurar su sostenibilidad, así como en la identificación y cuantificación de los procesos biofísicos de los suelos que contribuyen a la estabilización de los sistemas de producción agropecuarios.

Palabras claves: Oxisoles, sistemas agropastoriles, sistemas en rotación, labranza de conservación

Introducción

La intensificación de la producción agrícola y pecuaria en suelos ácidos de las sabanas de América Latina, está limitada por la falta de diversidad de germoplasma tolerante a la acidez y a la baja fertilidad del suelo. El uso de niveles altos de insumos, especialmente en sistemas en monocultivo, no permite garantizar la sostenibilidad de la producción generando como resultado el deterioro de las características del suelo, especialmente de las físicas ocasionando la reducción de la producción y el incremento en los problemas de plagas y enfermedades.

El mejoramiento de pasturas con base en el uso de leguminosas forrajeras es una práctica muy conveniente de manejo en la medida en que preserva el suelo y mejora la productividad de los sistemas. Sin embargo, esta tecnología demanda una inversión adicional para su establecimiento, lo cual hace que sea poco atractiva para los productores acostumbrados a manejar sistemas de ganadería extensiva con poca inversión.

El establecimiento de pasturas mejoradas en asociación con arroz es un sistema de producción que permite recuperar la inversión del establecimiento de las pasturas, razón por la cual ha sido ampliamente adoptado en áreas de la frontera agrícola de los Llanos Orientales de Colombia. Los agricultores perciben el efecto negativo de siembras continuas de arroz monocultivo, dando como resultado degradación de los suelos y, en consecuencia, disminución en los rendimientos, a pesar del beneficio económico en el corto tiempo. Por tanto, se requieren alternativas con componentes de manejo que contribuyan a la reducción de los efectos deletéreos del monocultivo. El monitoreo de los sistemas de producción puede realizarse mediante el desarrollo de mediciones de indicadores de sostenibilidad para predecir tanto el desempeño de los sistemas de producción agrícola y pecuaria como sus efectos en el suelo. Las leguminosas de grano, los abonos verdes, los cultivos en asociación y el establecimiento de pasturas mejoradas mediante cultivos transitorios, hacen parte de los posibles componentes de manejo que podrían incrementar la estabilidad y sostenibilidad de los sistemas que incluyen cultivos anuales.

Culticore, Ensayo colaborativo entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) para el desarrollo

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

sostenible del sector agrícola, fue establecido en el Centro Nacional de Investigación (CNI) en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, en 1993.

Fase I

El propósito de la Fase I del Ensayo Culticore fue desarrollar investigaciones con una selección de sistemas de producción donde se incluyeron como componentes rotaciones de cultivos con leguminosas, tanto para la producción de grano como para la incorporación como abono verde, establecimiento de pasturas mediante cultivos y sistemas en monocultivo como testigos, y sabana nativa como sistemas de referencia. Los sistemas de producción estuvieron basados en dos niveles de insumos (especialmente cal), determinados fundamentalmente por la tolerancia de los componentes a los factores de la acidez en el suelo; un primer nivel correspondió al uso de cal como fuente de Ca y Mg, para los sistemas basados en el cultivo del arroz; y un segundo nivel a aplicaciones de cal usada como enmienda, para los sistemas basados en el cultivo de maíz. En el transcurso del ensayo se realizó un monitoreo continuo bajo condiciones controladas para identificar indicadores de sostenibilidad de sistemas agropastoriles en suelos ácidos de sabanas. Debido a la interacción de procesos en la contribución a la estabilidad de los sistemas, la información fue recolectada de manera sistemática para desarrollar un modelo integrado, capaz de simular los efectos de los componentes y el manejo de los sistemas de producción en la evaluación de la sostenibilidad, determinada por los predictores. La manifestación de los efectos tanto deletéreos (monocultivos) como benéficos (rotaciones y establecimiento de las pasturas), a menudo sutiles, fueron evaluadas en períodos largos de tiempo, implicando la experimentación a largo plazo, que incluyó dos fases de experimentación comprendidas entre 1993–2001.

Objetivos

General

Desarrollar sistemas de producción sostenibles y competitivos para el manejo de suelos ácidos de sabana de los Llanos Orientales de Colombia.

Específicos

- Contrastar mediciones físico-químicas de suelo relacionadas con la sostenibilidad en sistemas de producción con diferentes potenciales de degradación, y con base en ellas desarrollar indicadores del estado de los sistemas.

- Conocer y cuantificar los procesos biofísicos del suelo que interactúan y contribuyen a la estabilidad de un sistema de producción determinado.

- Desarrollar una base de datos para modelos de simulación de cultivos, los cuales pueden ayudar en la evaluación y extrapolación de los efectos de los componentes de los sistemas y en prácticas de manejo de cultivos para garantizar su sostenibilidad.

Hipótesis

- Los sistemas en monocultivo causan degradación de suelo e incrementan las poblaciones de plagas, enfermedades y malezas; por tanto son de baja sostenibilidad.

- Las pasturas mejoradas asociadas con leguminosas forrajeras son sistemas sostenibles de mediano a largo plazo, pero requieren insumos para mantenimiento y renovaciones periódicas.

- La degradación de suelo puede ser reducida o corregida mediante la rotación de cultivos (monocultivos) o establecimiento de pasturas mejoradas.

- La aplicación de insumos (nutrientes y/o cal) es requerida para mantener la productividad y sostenibilidad de los sistemas.

- Los sistemas en rotación reducen las pérdidas y aumentan la eficiencia en el uso de los nutrientes de los fertilizantes.

Materiales y métodos

Estrategia

Para la Fase I del Ensayo Culticore se seleccionaron sistemas extremos de producción, incluyendo monocultivos y pasturas mejoradas, los cuales sirven como controles. Para contrastar se establecieron opciones intermedias en sistemas en rotación de largo plazo (5 años). La selección de los sistemas se basó en los siguientes principios:

- Tolerancia de los componentes a la acidez en el suelo; por consiguiente se considera la aplicación de dosis variables de cal.

- Estrategias para el mantenimiento del pH en el suelo.

- Selección de la mejor propuesta de cultivos y especies de germoplasma de pasturas para el ambiente agroeconómico en estudio.

Todos los sistemas se manejan para optimizar la producción y minimizar la degradación del suelo. Se utilizan prácticas de conservación de residuos de cosechas; se mantienen los niveles de fertilidad en el suelo y se controlan malezas y plagas.

Localización

Los trabajos se realizaron en suelos franco arcilloso limosos bien drenados (Typic Haplustox Isohipertérmicos caoliníticos) en condiciones de sabana nativa en el CNI de Corpoica, localizado en Carimagua (4° 37′ N, 71° 19′ O y 175 m.s.n.m.), Llanos Orientales de

Colombia. En el sitio, el promedio de la precipitación anual es de 2240 mm y la temperatura de 27 °C. Los suelos se caracterizan por tener un pH aproximado de 4.5, valores muy bajos de Ca intercambiable, Mg, K y P, y una saturación de Al muy alta (≈ 90%).

Diseño experimental

Los tratamientos en campo se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, tanto para los sistemas basados en el cultivo de arroz como para los sistemas basados en el cultivo de maíz.

Tratamientos

La definición de los tratamientos se realizó con base en la tolerancia de los cultivos a la acidez del suelo, de la siguiente manera: (i) tratamientos con aplicaciones de cal como fertilizante (500 kg/ha), basados en el cultivo del arroz (T1 a T5) y (ii) tratamientos con aplicaciones cal como enmienda (2000 kg/ha), basados en el cultivo de maíz (T6 a T10). El Cuadro 1 muestra los tratamientos y la descripción del manejo de los sistemas de producción. La selección de los sistemas basados en aplicación de cal como fertilizante —para suministrar Ca y Mg en cultivos y especies de gramíneas tolerantes al Al soluble en el suelo— o la aplicación de cal como enmienda —para rebajar la concentración de Al y permitir la producción de especies sensibles a este elemento. Los tratamientos incluyeron monocultivos, rotación con leguminosas para producción de grano, rotación con leguminosas para incorporación como abono verde y establecimientos de pasturas mediante cultivos y la sabana nativa como control.

Tamaño de parcelas

El tamaño de las parcelas experimentales se basó en el área total requerida para mantener 3 animales, con una carga equivalente a 2 animales/ha, haciendo rotaciones en las replicaciones y considerando la posibilidad de subdividirlas posteriormente. Las altas dimensiones de las parcelas permitieron además el uso de maquinaria agrícola convencional, con el fin de evaluar su efecto en las propiedades físicas del suelo.

Los tratamientos de cultivos-pasturas se asignaron en parcelas adyacentes (no al azar) para facilitar el suministro de agua y el manejo de los animales. Los tamaños de las parcelas fueron de 3600 m^2 (200 × 18 m o 180 × 20 m) para rotaciones de cultivos y de 7200 m^2 (200 × 36 m o 180 × 40 m) para el sistema cultivo-pasturas (Figura 1).

Implementación

El Ensayo Culticore en la Fase I se implementó en dos etapas: en 1993 se iniciaron las rotaciones basadas en niveles de cal como fertilizante, sistemas basados en el cultivo de arroz; en 1994 se iniciaron las rotaciones basadas en la aplicación de cal como enmienda, sistemas basados en el cultivo de maíz. Durante 1993 se iniciaron simultáneamente ensayos satélites para evaluar tanto el efecto de algunas prácticas agronómicas en el manejo de los cultivos, como los residuos de cosecha de la producción de maíz monocultivo y en rotación.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos. Primer ciclo agropastoril, 5 años.

Tratamiento No.	Sistemas de producción	Descripción
1	Arroz monocultivo	Arroz monocultivo; sembrado el primer semestre, un cultivo por año; luego, las parcelas son dejadas en barbecho durante el segundo semestre; se realiza preparación temprana de suelo al final de la época lluviosa (diciembre).
2	Rotación arroz-caupí (producción de grano)	Arroz (sembrado el primer semestre) en rotación con caupí (sembrado el segundo semestre), cada año; caupí cosechado para grano; los residuos se incorporan antes de la siembra en la siguiente época lluviosa.
3	Rotación arroz-caupí (abono verde)	Arroz (sembrado el primer semestre) en rotación con caupí (sembrado el segundo semestre); el caupí es incorporado como abono verde, cuando alcance un nivel máximo de biomasa, avanzada la época de lluvias (noviembre-diciembre).
4	Sabana nativa	Sabana nativa en condición natural, manejada de manera tradicional con quema durante la época seca.
5	Arroz/pastura	Establecimiento de la pastura de *Brachiaria humidicola/Centrosema acutifolium/Stylosanthes capitata/Arachis pintoi*, mediante el cultivo de arroz, sembrado el primer año; mantenida con una población adecuada de leguminosas; renovada cada 4 o 5 años, dependiendo de la composición de la pastura. Manejada con pastoreo.
6	Maíz monocultivo	Maíz monocultivo; sembrado el primer semestre, un cultivo por año; luego, las parcelas son dejadas en barbecho durante el segundo semestre; se realiza preparación temprana de suelo al final de la época lluviosa (diciembre).
7	Rotación maíz-soya (producción de grano)	Maíz (sembrado el primer semestre) en rotación con soya (sembrada el segundo semestre), cada año; la soya cosechada para grano; luego, los residuos se incorporan antes de la siembra en la siguiente época lluviosa.
8	Rotación maíz-soya (abono verde)	Maíz (sembrado el primer semestre) en rotación con soya (sembrada el segundo semestre); la soya incorporada como abono verde, cuando alcance un nivel máximo de biomasa, avanzada la época de lluvias (noviembre-diciembre).
9	Sabana nativa	Sabana nativa en condición natural, manejada de manera tradicional con quema durante la época seca.
10	Maíz/pastura	Establecimiento de la pastura de *Panicum maximum/Glycine wightii/Arachis pintoi,* mediante el cultivo de maíz, sembrado el primer año; mantenida con una población adecuada de leguminosas y renovada cada 4 o 5 años, dependiendo de la composición de la pastura.

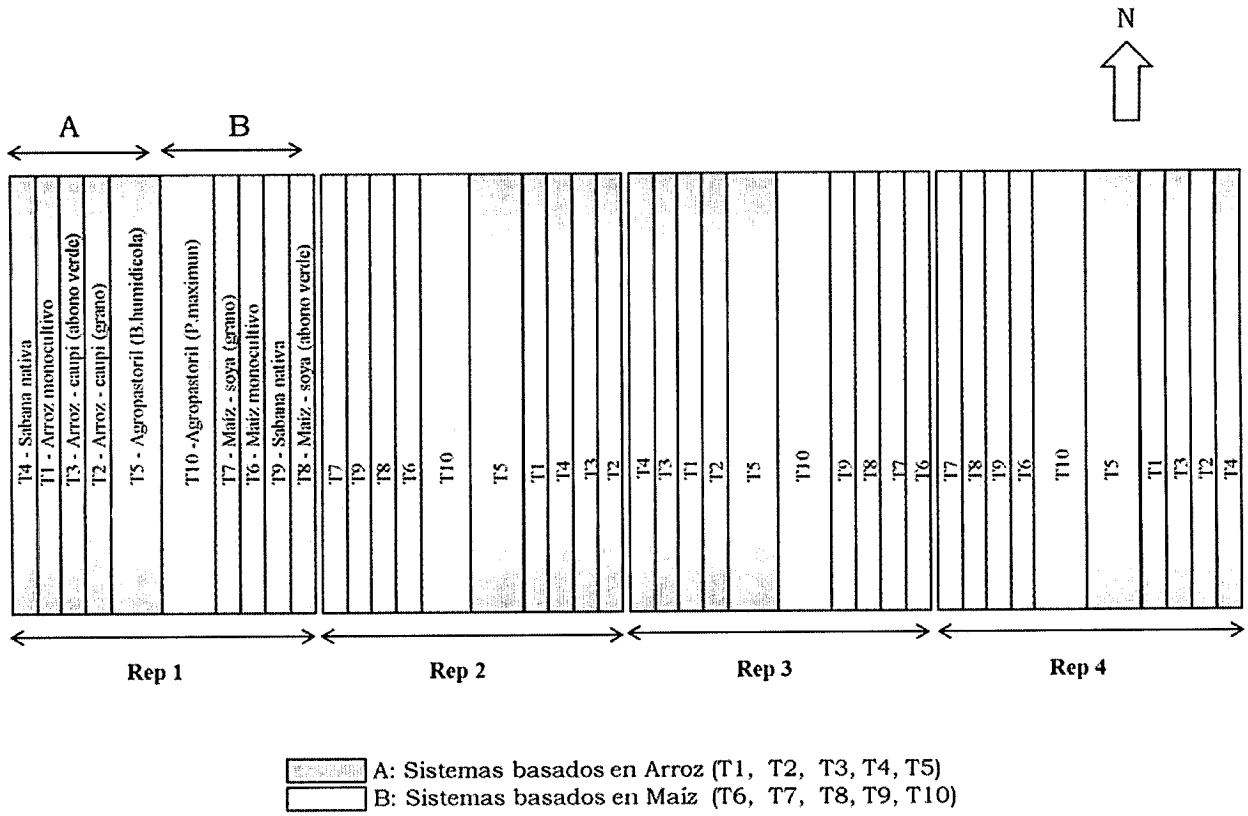

Figura 1. Distribución de los tratamientos en campo. Fase I, Ensayo Culticore, CNI, Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

Manejo y dosis de fertilizantes y encalado

La fertilización y las dosis aplicadas se basan en los requerimientos de cada cultivo complementado por el análisis de suelo y ensayos de respuesta a tasas de fertilizantes en parcelas pequeñas. Los ajustes necesarios se realizan con información generada durante el ensayo. Los sistemas que incluyen pasturas se encalan solo antes del establecimiento del cultivo; los demás reciben aplicaciones de cal cada año. Las dosis se seleccionan para mantener la disponibilidad de Ca y Mg o la saturación de Al en los niveles recomendados.

La cal se aplica a voleo y se incorpora con un pase de rastra entre 3 y 4 semanas antes de la siembra. Los fertilizantes se aplican de la siguiente forma: P como superfosfato simple (SFT); K como cloruro de potasio, una tercera parte de dosis total; Mg como Kieserita o $MgSO_4.H_2O$; Zn ($ZnSO_4$); y B (bórax) en bandas a 5 cm de la semilla al momento de la siembra. El N se aplica a voleo como urea aproximadamente a las 2, 6 y 9 semanas después de la siembra. La segunda y tercera aplicación de K se hace con la urea a las 6 y 9 semanas después de la siembra (Cuadro 2).

Cuadro 2. Requerimiento inicial de fertilización.

Nutriente	Fuente	Nutriente (%)	Arroz[a]		Maíz[a]		Caupí-soya[b]	
			Nutriente	Fertilizante	Nutriente	Fertilizante	Nutriente	Fertilizante
			(kg/ha)					
Ca, Mg	Dolomita	10 Mg	50 Mg	500	—	2000	—	—
N 1ra	Urea	46	20	43	40	87	20	43
2da	Urea	46	30	65	40	87	0	0
3ra	Urea	46	30	65	40	87	0	0
P	SPT	20	60	30	80	400	40	200
K	KCl	51	33	65	33	65	30	59
Mg	$MgSO_4.H_2O$	17	15	87	15	87	10	59
S		23	20		20		13	
Zn	$ZnSO_4.6H_2O$	24	10	42	10	42	10	42
B	Bórax	11	0	0	10	90	0	0

a. Monocultivo y asociado con pasturas.
b. Producción de grano y manejado como abono verde.

Preparación de suelo y manejo de malezas

En diciembre de 1992, antes del establecimiento del Ensayo, se quemó la sabana nativa y posteriormente se aró en todos los tratamientos de cultivos, excepto en la sabana nativa. La labranza convencional se realizó en todos los tratamientos, excepto en el tratamiento 9A; sin embargo, la intensidad de preparación del suelo dependió de cada tratamiento, así como de la necesidad de controlar malezas y de incorporar los abonos verdes y los residuos de cosecha (Cuadro 1). Las malezas fueron controladas especialmente con el uso de labranza dirigida en la época apropiada y con prácticas agronómicas para reducir su invasión y crecimiento; entre ellas, densidades apropiadas de siembra y distancia entre surcos. No obstante, se usaron herbicidas en dosis reducidas para el control de malezas, cuando la labranza no fue efectiva; así, en el tratamiento 9A el uso de los herbicidas fue necesario para controlar las malezas debido a la labranza mínima.

Manejo de plagas y enfermedades

Éstas se monitorearon durante las diferentes etapas del cultivo y cuando fue necesario se aplicaron agentes de control biológicos principalmente, para cumplir con los protocolos del manejo integrado de plagas (MIP).

Manejo y utilización de pasturas

El objetivo principal en el manejo de las pasturas fue el mantenimiento de un porcentaje de leguminosas adecuada para sostener la producción de las gramíneas y evitar la degradación de las pasturas. La carga animal base fue aproximadamente de 3 animales /ha, pero se varió

según los requerimientos para mantener un nivel apropiado de oferta de biomasa y para controlar la competencia entre gramíneas y leguminosas. Cada parcela se dividió en dos partes de igual tamaño, de manera que permitió rotación cada 2 semanas.

Mediciones y observaciones

En forma periódica se realizaron mediciones y observaciones de las propiedades físico-químicas del suelo y se evaluó el impacto de los cambios en la productividad de los sistemas, en el uso eficiente de los recursos e insumos y en el ambiente. Se realizó un banco de muestras de suelo, para un posible uso en el futuro, de muestras de suelo tomadas regularmente de cada tratamiento a las diferentes profundidades. A continuación se incluye un resumen de las principales observaciones y mediciones de campo y laboratorio realizadas en el Ensayo Culticore. Durante el transcurso de las investigaciones se introdujeron nuevas variables y se hizo énfasis en algunas consideradas más relevantes.

Observaciones en cultivos y abonos verdes

1. Rendimiento de grano y/o producción de materia seca.
2. Biomasa y distribución de raíces.
3. Dinámica de malezas.
4. Concentración de nutrientes en los productos y subproductos, tanto del cultivo como de los abonos verdes.
5. Parámetros fenológicos de los cultivos y de cosecha para desarrollar modelos de simulación de cultivos (IBSNAT *minimum data set*).

Observaciones en pasturas

1. Composición botánica cada 3 meses.
2. Oferta de biomasa en intervalos de 3 meses.
3. Concentración de nutrientes en los forrajes.
4. Carga animal y ganancias de peso vivo.
5. Biomasa y distribución de raíces.

Propiedades físicas del suelo

1. Densidad aparente.
2. Porosidad y tasa de infiltración.
3. Estabilidad de agregados.
4. Compactación (resistencia a penetrómetro).
5. Contenido de humedad en el suelo con base en peso, antes de la siembra y después de la cosecha.

Propiedades químicas de suelo

1. Materia orgánica: cantidad y calidad.
2. Acidez del suelo: pH, Al y H intercambiables.
3. Cationes intercambiables: Ca, Mg, K.
4. N-suelo: N total, NH_4 y NO_3, N mineralizable.

5. P-suelo: disponible (Bray-2, Olsen, P inórganico),
   P débil (^{32}P intercambiable),
   P orgánico e inorgánico (fraccionamiento por Hedley),
   P microbial.
6. S-suelo: disponible SO_4.
7. S total.

Biología de suelo

1. Poblaciones y dinámica de lombrices.

Datos meteorológicos (IBSNAT minimum data set)

1. Temperatura mínima y máxima diaria.
2. Precipitación diaria.
3. Radiación solar diaria.
4. Humedad relativa.
5. Velocidad del viento.

Evaluación de procesos (estudios en microparcelas y ensayos satélites)

1. Fijación de N_2 por los componentes de las leguminosas.
2. Velocidad de mineralización o pérdidas de nutrientes orgánicos (N, P y S) o inorgánicos (K, Ca, Mg) desde los residuos de cultivos, abonos verdes y pasturas.
3. Balance de nutrientes (incluyendo los fertilizantes). Cuantificación de las pérdidas de nutrientes por lixiviación, fijación y volatilización.
4. Dinámica de P orgánico y P inorgánico en el suelo.

Agradecimientos

A Horacio Carmen, Agronomía de cultivos, leguminosas y abonos verdes, de Corpoica; a Hernando Delgado, Agronomía de arroz y maíz, de Corpoica; a Edgar Almanza, Física de suelos, de Corpoica; a Richard Thomas, Fijación y reciclaje de nitrógeno, del CIAT; a Georges Rippstein, Manejo de sabana nativa y dinámica de malezas, del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (Cirad); a José Ignacio Sanz, Labranza de suelo, del CIAT; a Patrick Lavelle, Fauna de suelo, del Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD; *anteriormente*, la Oficina de la Investigación Científica y Técnica de Ultramar, ORSTOM); y a Ana Moreno, Fauna de suelos, de la Universidad Complutense de Madrid.

Fase II

Se evaluó el efecto residual del establecimiento de sistemas agropastoriles durante la Fase I, mediante sistemas de labranza de conservación que incluyeron labranza cero y labranza mínima en sistemas de arroz y maíz en rotación con soya.

Los resultados finales de las evaluaciones realizadas durante la Fase I mostraron que algunos sistemas de producción mejoraron las condiciones del suelo, mostrando así su capacidad para el establecimiento de sistemas de producción mediante siembra directa.

Al comienzo de esta Fase se hizo una caracterización integral del suelo que incluyó determinaciones físicas, químicas y biológicas para determinar sus potencialidades y limitaciones. Se evaluaron el rendimiento de cultivos, la composición botánica en las pasturas y las áreas de producción de cultivos.

Objetivos

General

Evaluar el efecto del establecimiento de sistemas agropastoriles en la Fase I en sistemas en rotación manejados con labranza de conservación establecidos en la Fase II.

Específicos

- Evaluar sistemas alternativos de labranza (labranza cero y labranza mínima) en rendimiento y caracterización físico-química del suelo en los cultivos de arroz y maíz en rotación con soya.

- Aplicar las estrategias para el establecimiento y mantenimiento de la capa arable en suelos ácidos de sabana de baja fertilidad para asegurar su sostenibilidad.

- Identificar y cuantificar los procesos biofísicos de los suelos, que interactúan y contribuyen a la estabilización de los sistemas de producción agropecuarios.

- Mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con la utilización de los residuos de cosecha, mediante su incorporación y/o cobertura vegetal.

- Desarrollar herramientas como soporte a la investigación y transferencia de tecnología (SIG) para la toma de decisiones adecuada sobre sistemas de producción.

Hipótesis

El establecimiento de sistemas agropastoriles en la Fase I modificó positivamente la condición del suelo (en algunos sistemas), de manera que permitirá su manejo bajo siembra directa.

Metodología

La Fase II se realizó utilizando las áreas de los sistemas de producción establecidos durante la Fase I del ensayo, de manera que pudiera ser evaluado su efecto residual. Los sistemas de

producción basados en los cultivos de arroz y maíz establecidos en la Fase I fueron divididos para establecer los tratamientos de labranza.

Los bloques de la Fase I se fraccionaron quedando 110 m con los tratamientos originales como testigo y en los otros 90 m se introdujeron los sistemas de maíz y arroz en rotación con soya y la leguminosa arbustiva (*Cratylia argentea*) en parcelas de 18 m x 15 m. Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución de los tratamientos en campo, para los sistemas basados en los cultivos de arroz y maíz, respectivamente, en las Fases I (1A) y II (1B).

Tratamientos y diseño experimental

Los Cuadros 3 y 4 presentan la descripción de los tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de parcelas divididas, con cuatro repeticiones. En los sistemas de producción basados en los cultivos de arroz y/o maíz fueron asignados dos tipos de labranza: labranza cero (siembra directa) y labranza mínima (dos pases de cincel), los cuales correspondieron a las parcelas principales y las subparcelas a los sistemas de producción establecidos durante la Fase I.

Mediciones y observaciones

Se realizaron mediciones y observaciones secuenciales para continuar con el monitoreo de las propiedades físico-químicas y biológicas de suelo y el impacto de las propiedades cambiantes de suelo en los sistemas de producción que incluyeron (densidad aparente, distribución de la porosidad, tasa de infiltración, estabilidad de agregados, resistencia tangencial al corte, conductividad hidráulica y curvas de retención de humedad, entre otras. Al igual que en la Fase I, se realizaron determinaciones y observaciones en los cultivos de arroz y maíz y de soya, para rendimiento, biomasa de raíces, incidencia de plagas, enfermedades y malezas. Se registraron variables climáticas (precipitación, temperatura, radiación solar y humedad relativa). Se evaluaron los procesos de fraccionamiento de materia orgánica y almacenamiento de carbono.

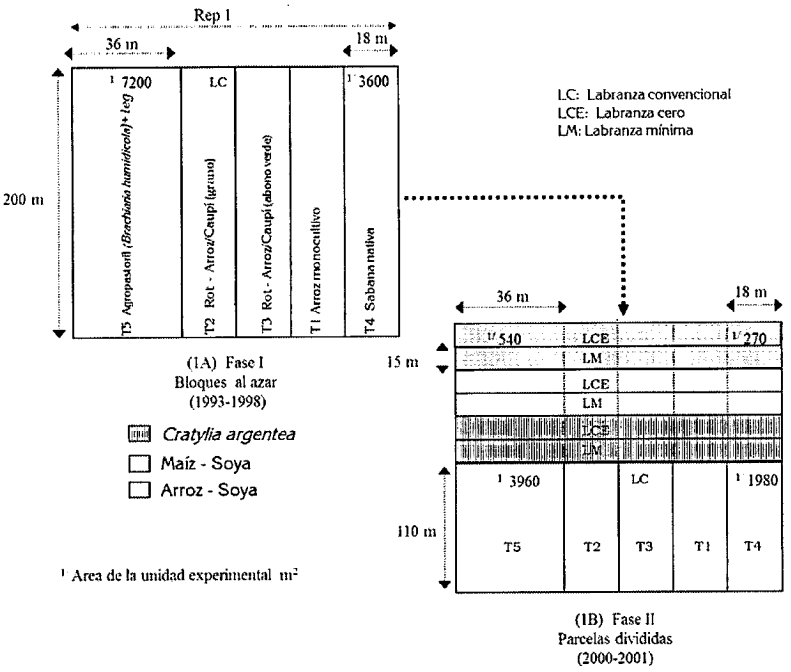

Figura 2. Distribución de los tratamientos en campo, basados en arroz. Fase II, Ensayo Culticore, CNI, Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

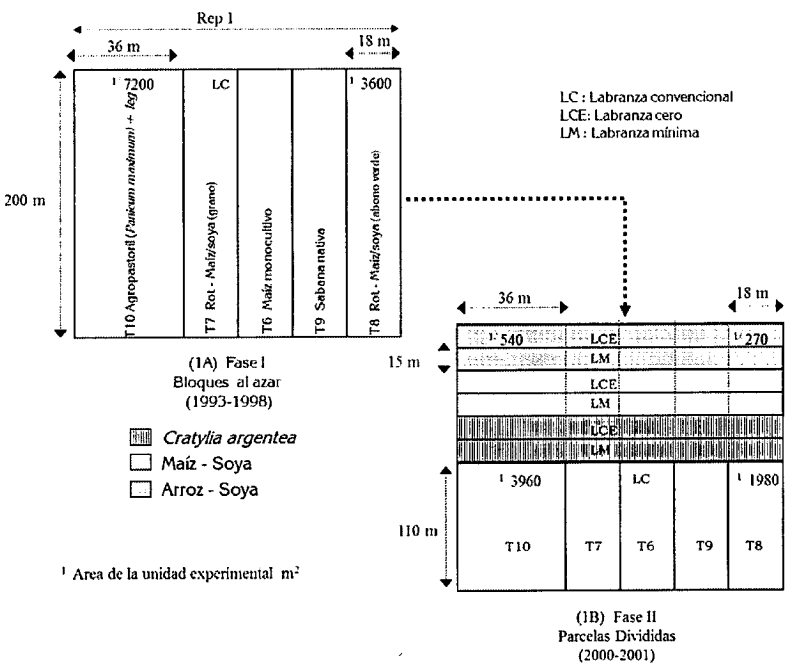

Figura 3. Distribución de los tratamientos en campo, basados en maíz. Fase II, Ensayo Culticore, CNI, Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos. Segundo ciclo, arroz en rotación con soya.

Tratamiento No.	Labranza	Sistemas de producción Fase I	Sistemas de producción Fase II
1	Cero (Siembra directa)	Arroz monocultivo	Arroz-soya
2		Rotación arroz-caupí (producción de grano)	Arroz-soya
3		Rotación arroz-caupí (abono verde)	Arroz-soya
4		Sabana nativa	Arroz-soya
5		Arroz/pastura	Arroz-soya
1	Mínima (Cincel)	Arroz monocultivo	Arroz-soya
2		Rotación arroz-caupí (producción de grano)	Arroz-soya
3		Rotación arroz-caupí (abono verde)	Arroz-soya
4		Sabana nativa	Arroz-soya
5		Arroz/pastura	Arroz-soya
6	Cero (Siembra directa)	Maíz monocultivo	Arroz-soya
7		Rotación maíz-caupí (producción de grano)	Arroz-soya
8		Rotación maíz-caupí (abono verde)	Arroz-soya
9		Sabana nativa	Arroz-soya
10		Maíz/pastura	Arroz-soya
6	Mínima (Cincel)	Maíz monocultivo	Arroz-soya
7		Rotación maíz-caupí (producción de grano)	Arroz-soya
8		Rotación maíz-caupí (abono verde)	Arroz-soya
9		Sabana nativa	Arroz-soya
10		Maíz/pastura	Arroz-soya

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos. Segundo ciclo, maíz en rotación con soya.

Tratamiento No.	Labranza	Sistemas de producción Fase I	Sistemas de producción Fase II
1	Cero (Siembra directa)	Arroz monocultivo	Maíz-soya
2		Rotación arroz-caupí (producción de grano)	Maíz-soya
3		Rotación arroz-caupí (abono verde)	Maíz-soya
4		Sabana nativa	Maíz-soya
5		Arroz/pastura	Maíz-soya
1	Mínima (Cincel)	Arroz monocultivo	Maíz-soya
2		Rotación arroz-caupí (producción de grano)	Maíz-soya
3		Rotación arroz-caupí (abono verde)	Maíz-soya
4		Sabana nativa	Maíz-soya
5		Arroz/pastura	Maíz-soya
6	Cero (Siembra directa)	Maíz monocultivo	Maíz-soya
7		Rotación maíz-caupí (producción de grano)	Maíz-soya
8		Rotación maíz-caupí (abono verde)	Maíz-soya
9		Sabana nativa	Maíz-soya
10		Maíz/pastura	Maíz-soya
6	Mínima (Cincel)	Maíz monocultivo	Maíz-soya
7		Rotación maíz-caupí (producción de grano)	Maíz-soya
8		Rotación maíz-caupí (abono verde)	Maíz-soya
9		Sabana nativa	Maíz-soya
10		Maíz/pastura	Maíz-soya