

Propiedades químicas del suelo bajo cultivos de cobertura en sistemas de labranza conservacionista y su efecto sobre el rendimiento de maíz¹***Soil chemical properties under cover crops in conservation tillage systems and their effects on corn yield*****Zenaida Lozano¹, Oskin Briceño¹, José Gregorio Villanueva¹, Carlos Bravo², Rosa Mary Hernández², Belkys Moreno³, Luis Piñango³.**

¹ Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Apdo. 4579, Maracay, lozanoz@agr.ucv.ve. ² Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Centro de Agroecología Tropical, Laboratorio de Biogeoquímica, Caracas. ³ Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias, Estación Valle de la Pascua.

RESUMEN

El uso de cultivos de cobertura permanente y siembra directa en los sistemas cereal-ganado, puede mejorar las propiedades del suelo y proporcionar un forraje de buena calidad en la estación seca. En este estudio se evaluó el crecimiento de cultivos de cobertura asociados al maíz y su efecto sobre las propiedades químicas de dos suelos, un Ustoxic Quartzipsament (IGU) y un Typic Haplustert (SPA). Se utilizaron las siguientes pasturas permanentes como barbechos mejorados, para la siembra directa de maíz: *Brachiaria humidicola* (BH), *Brachiaria dictyoneura* (BDY), *Brachiaria decumbens* (BDE) y *Centrosema macrocarpum* (CM) y Vegetación natural (VN) como testigo. Se evaluaron: a) variables de crecimiento de las coberturas, b) propiedades químicas del suelo (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico, y los contenidos de N, P, K, Ca y Mg disponibles y c) variables del cultivo de maíz. Las muestras de suelo fueron colectadas en época de floración del cultivo. Se tomaron 12 muestras en cada tratamiento a tres profundidades: en IGU (0 a 5, 5 a 15 y 15-30 cm) y en SPA (0 a 5, 5 a 10 y 10 a 20 cm). Los resultados indicaron que las propiedades químicas del suelo presentaron diferencias significativas entre coberturas a las profundidades consideradas en ambos suelos, las diferencias entre suelos se atribuyen a la clase textural de los mismos. Las coberturas evaluadas variaron en porcentaje de cobertura y biomasa acumulada en ambos suelos. Los variables del cultivo presentaron diferencias entre coberturas solo para el suelo SPA.

Palabras Clave: Labranza conservacionista, estado Guárico, propiedades químicas del suelo, siembra directa, *Zea mays*.

ABSTRACT

The use of perennial cover crops and no tillage in cereal-livestock systems can improve soil properties and provide good quality forage in the dry season. This study evaluated the growth of cover crops associated to maize and its effects on the chemical properties of two different soils: anin Ustoxic Quartzipsament (IGU) and a Typic Haplustert (SPA). Perennial cover crops were used as improved fallows for no-tillage maize: *Brachiaria humidicola* (BH), *Brachiaria dictyoneura* (BDY), *Brachiaria decumbens* (BDE), and *Centrosema macrocarpum*, and Natural vegetation (VN) as witness. The following kinds of variables were evaluated: a) growth of the cover crops parameters, b) soil chemical properties (pH, electrical conductivity, organic carbon, cationic exchangeable capacity, and the contents of N, P, K, Ca, and Mg available), and c) maize crop parameters. The soils samples were collected at the flowering stage of maize. Twelve samples for treatment were taken at three different depths: in SPA (0 to 5, 5 to 10, and 10 to 20 cm) and in IGU (0 to 5, 5 to 15, and 15 to 30 cm). The results indicated that the chemical soil properties were significantly different between cover crops at the depths considered in both soils, the differences between soils are attributed to the textural class. The cover crops varied in cover percentage and accumulated biomass in both soils. The crop variables showed differences between cover crops only in the SPA soil.

Key words: Conservation tillage, soil chemical properties, no tillage, Guárico state, *Zea mays*.

¹ Recibido: 10-10-08 ; Aceptado: 29-07-09

INTRODUCCIÓN

Los Llanos Centrales de Venezuela se caracterizan por ser una región agropecuaria, donde se desarrollan sistemas de ganadería de doble propósito en forma extensiva y semi-intensiva con poca disponibilidad de pastos de buena calidad, monocultivos de secano (maíz y sorgo) y el uso de la soca para la alimentación del ganado. Esto genera que los suelos estén sin protección cuando las precipitaciones son más intensas y se presentan graves problemas de erosión. Para solventar esta problemática, algunas investigaciones se han orientado hacia la siembra en contorno, uso de labranza reducida con residuos en superficie y cultivos en franjas (Bravo, 1995; Pérez-Greiner, 1995). La mayoría de los productores no establecen pasturas mejoradas debido a sus altos costos de producción, principalmente en fertilización. Actualmente existen una serie de tecnologías que permiten el mejoramiento de los sistemas de producción cereal-ganado, entre los que se puede mencionar los bloques multinutricionales, la amonificación, el ensilaje y el establecimiento de pasturas en asociación con cultivos financiadores como el maíz, sorgo, soya y arroz (Berroterán, 1995; Osuna *et al.*, 1996; Mata *et al.*, 1996; Bravo *et al.*, 2004, Rincón *et al.*, 2007). Estos cultivos permiten disminuir los costos de producción en preparación del terreno y fertilización y aumentar la oferta forrajera.

El uso de coberturas permanentes resulta beneficioso en el manejo de la mayoría de los cultivos anuales, especialmente donde las lluvias son intensas a los inicios del cultivo. Bravo (1995), indica que el replanteo de sistemas de cultivos en franja y barreras de pastos espaciados a 10, 20 y 30 m en el cultivo de sorgo bajo la siembra directa, puede constituir una práctica de conservación de suelo y suministro de forraje para el ganado, muy efectiva para los llanos centrales venezolanos y con muchas posibilidades de transferencia tecnológica. Berroterán (1995), señala que el establecimiento de *Andropogon gayanus* asociado con maíz (*Zea mays*) en los Llanos altos centrales venezolanos, podría constituir una alternativa tecnológica, para la posterior siembra de maíz sobre pasto y de esta manera controlar el proceso de erosión y aumentar la oferta de forraje para la alimentación animal, debido a la poca competencia del pasto con el cultivo principal y al alto porcentaje de cobertura (78 %) que se alcanza a los 140 días. De igual manera Bravo (1995), destaca que la siembra directa de maíz sobre *Brachiaria humidicola* constituye una alternativa para los productores del estado Guárico, debido al gran aporte de residuos de cosecha en un sistema mixto (maíz-ganadería), la protección del suelo contra los efectos erosivos de las lluvias y el bajo costo energético. Pérez-Greiner (1995), observó que en el sistema de siembra directa de maíz sobre pastos cultivados (*Brachiaria humidicola*), el desarrollo del cultivo es bueno y vigoroso; además se evaluó el sistema con bajas, moderadas y altas poblaciones de maíz (17.000, 42.000 y 66.000 pl ha⁻¹), obteniendo rendimientos de 1540, 2609 y 3503 kg ha⁻¹ para las densidades baja, media y alta, respectivamente.

En los sistemas de labranza conservacionista se utiliza una gran variedad de especies como barbechos mejorados entre las que se puede mencionar las de los géneros *Crotalaria*, *Andropogum*, las *Brachiarias humidicola*, *dictyoneura* y *Centrosema*; cuya función es proteger el suelo y recuperar su productividad a través del mejoramiento de las propiedades del mismo. La mayoría de estas especies son de gran importancia en sistemas pecuarios ya que son utilizadas en la alimentación animal, debido a que tienen un alto valor nutritivo, lo cual se refleja en una mejor ganancia de peso en los animales que las consumen. Para el establecimiento de estos sistemas de cereal con cultivos de cobertura, es necesario que se utilicen pasturas permanentes y la siembra directa para el establecimiento del cereal. El uso de siembra directa puede requerir ciertos cambios en el manejo de la fertilidad del suelo, debido a que se presenta una variación en la distribución de los contenidos totales, disponibles y de reserva de los nutrientes principales en la zona de exploración de las raíces (Lozano, 1999). Las características químicas de la capa superficial del suelo se ven más favorecidas bajo sistemas de manejo conservacionista que bajo la labranza convencional; pero la magnitud relativa de las diferencias entre ambos sistemas depende de las propiedades del suelo, el clima y del tipo de cultivo. Bravo (1995), indica que el efecto de la profundidad es un factor determinante en algunas variables tales como, pH y los contenidos de K, P, Ca y MO, presentando un mejor comportamiento en los primeros 10 cm de profundidad en un sistema de siembra directa de maíz sobre vegetación natural en relación al sistema convencional. Numerosos estudios señalan que el mejoramiento de las propiedades del suelo, como consecuencia de sembrar sin labrar y dejar residuos en superficie se debe a un aumento en la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS). La MOS medida como carbono orgánico (CO) en sistemas de manejo conservacionista (siembra directa, rotaciones, cultivos de cobertura, abonos verdes, etc), está estrechamente relacionada con el período de tiempo bajo el sistema de manejo y con la cantidad de residuos que

al., 1990, Lal *et al.*, 1994). Cuando se usan sistema de manejo conservacionistas que incluyen la disminución de las operaciones de labranza y la aplicación de residuos en superficie, se produce un incremento de elementos como el P, atribuido a la naturaleza poco móvil del elemento, a la aplicación superficial de los fertilizantes fosforados y a la descomposición de los residuos en superficie (Unger, 1991; Franzluebbbers y Horn, 1996; Ekebert y Riley, 1997). Otros autores atribuyen este comportamiento a la mayor disponibilidad de P orgánico (Evangelou y Blevins, 1988), a un aumento de la actividad de fosfatasa ácida (Contreras *et al.*, 1996), o a una disminución de la fijación de P por parte del suelo, al disminuir el contacto suelo-fósforo (Selles *et al.*, 1999).

Con este trabajo se pretende evaluar el sistema maíz en siembra directa sobre los residuos de pasturas permanentes de *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria dictyoneura*, *Brachiaria decumbens* y *Centrosema macrocarpum*, en relación al crecimiento del maíz y de los cultivos de cobertura, y del cambio en las propiedades químicas del suelo por efecto del sistema propuesto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Este estudio se realizó en dos suelos representativos del estado Guárico, uno es un Entisol clasificado como Ustoxic Quartzipsament, localizado en la Estación Experimental La Iguana (IGU) en zona de Sabana, y el otro es un Vertisol clasificado como Typic Haplustert, localizado en las cercanías de Valle de la Pascua en zona de Bosque Seco Tropical, identificado como San Pablo (SPA), ambos en el estado Guárico; la ubicación geográfica de los suelos se presenta en la figura 1 (Riera y Guerrero, 1984). El suelo IGU está a una altura de 80–120 msnm, con una precipitación promedio anual de 1369 mm y una temperatura de 27,9 °C, el relieve es plano con pendientes de 2 %. El suelo se encontraba bajo vegetación de sabana. El suelo SPA está a 100 msnm, con una precipitación media anual de 1074 mm y una temperatura de 27,3 °C, el relieve es ondulado con una pendiente aproximada de 3 %. Este suelo había sido utilizado para la siembra de cereales por más de veinte años y al momento de la instalación del ensayo tenía ocho años bajo barbecho. En cada suelo se identificaron dos horizontes genéticos en IGU uno de 0 a 15 de textura arenosa y otro de 15 a 30 cm de textura franco arenosa; mientras que en SPA el primer horizonte de 0 a 10 cm es de textura franco arcillosa y el segundo de 10 a 20 cm es de textura arcillosa (Cuadro 1).

Tratamientos y manejo agronómico

Se utilizaron cuatro cultivos de cobertura como barbechos mejorados para el sistema de maíz en siembra directa: *Centrosema macrocarpum* (CM), *Brachiaria humidicola* (BH) y *Brachiaria dictyoneura* (BDY), *Brachiaria decumbens* (BDE) y la vegetación natural (VN) como testigo; ésta consistió de una mezcla de plantas de gramíneas y leguminosas que emergieron espontáneamente luego de la preparación del terreno para la siembra de las coberturas introducidas. Se usó un diseño de Parcelas Grandes de 900 m² (30 m x 30 m) para el suelo IGU y 1200 m² (30 m x 40 m) para el suelo SPA, con 12 repeticiones por tratamiento a tres profundidades: en IGU (0 a 5, 5 a 15 y 15 a 30 cm) y SPA (0 a 5, 5 a 10 y 10 a 20 cm), en ambos suelos se dividió el horizonte superficial en dos capas, tomando la primera en los primeros 5 cm y la segunda el resto del horizonte. Tanto el diseño como el tamaño de las parcelas y el número de repeticiones se seleccionaron con base en estudios previos de variabilidad espacial (Lozano *et al.*, 2004). Las coberturas se establecieron previamente en ambos suelos y se dejaron crecer libremente por un año, la siembra de las coberturas forrajeras se realizó por semilla en IGU y por estolones en SPA.

Una vez establecidas las coberturas se procedió en el periodo prehúmedo, a la aplicación de un pase de rotativa para la uniformización y distribución homogénea de los residuos, la aplicación de un herbicida postemergente de contacto (Paraquat, 4 L ha⁻¹) y la siembra directa del maíz sobre las distintas coberturas. Se sembró semilla de maíz blanco Sefloarca 02 tratada con semevín a una distancia de 0,90 m entre hileras y de 5 a 6 plantas por metro lineal. La fertilización se aplicó de manera manual y en bandas una semana después de haber germinado el cultivo, para lo cual se utilizó como fuente una mezcla de urea perlada + fosfato diamónico y cloruro de potasio a razón de 120-90-90 kg ha⁻¹ en IGU y 60-60-30 kg ha⁻¹ de N – P₂O₅ – K₂O en SPA. A los 30 días después de la siembra se efectuó el reabono, utilizando como fuente urea perlada en dosis de 120 kg ha⁻¹ en IGU y 60 kg ha⁻¹ de N en SPA.

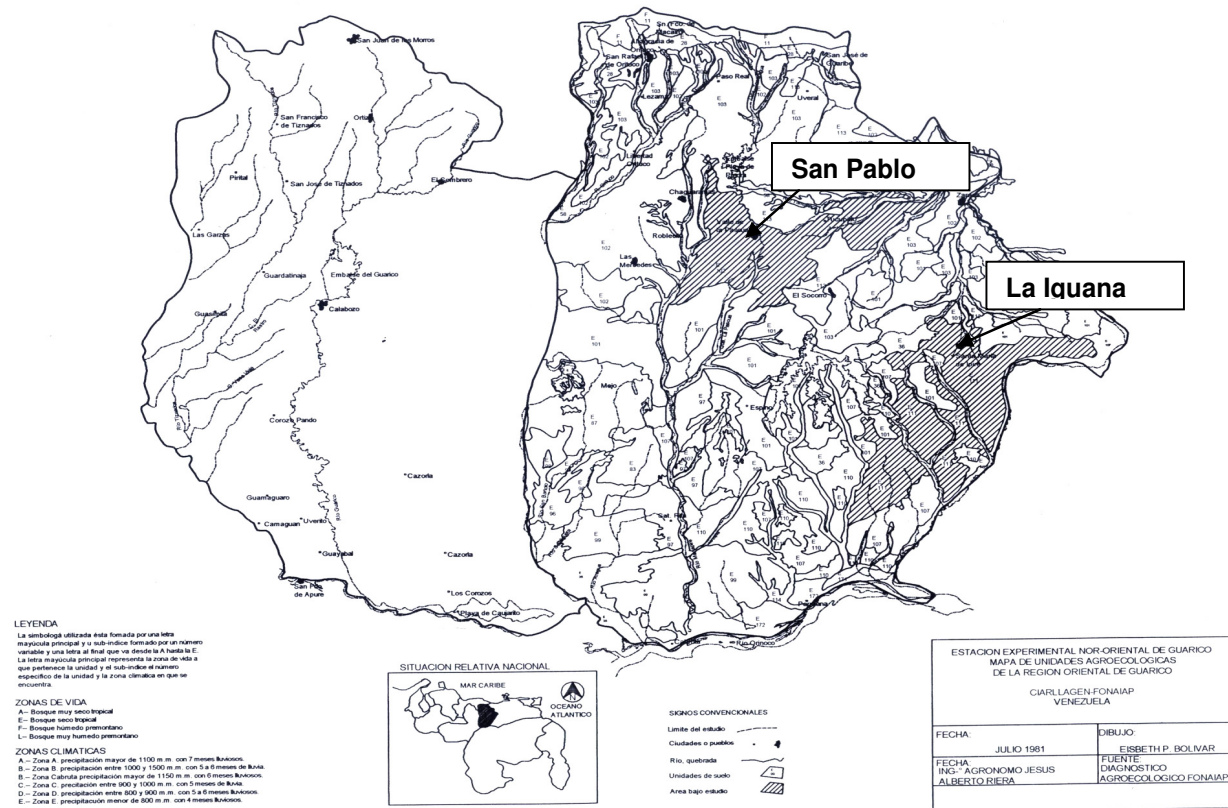


Figura 1. Ubicación de las unidades de suelo donde se establecieron los ensayos: San Pablo y La Iguana.

Cuadro 1. Características físicas de los suelos antes de establecer los ensayos San Pablo y La Iguana (n = 12).

Parámetro evaluado	La Iguana		San Pablo		
	0 - 15 cm	15 - 30 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
Distribución de tamaño de partícula (%)	< 2 µm	5,97 (0,54)	8,25 (1,52)	34,72 (3,33)	40,62 (5,32)
	2 - 50 µm	6,49 (0,90)	5,37 (0,96)	31,90 (2,42)	29,26 (1,16)
	50 - 100 µm	61,14 (0,65)	60,44 (1,66)	15,43 (3,19)	13,22 (3,12)
	100 - 250 µm	13,45 (1,08)	13,20 (1,73)	13,72 (1,30)	12,51 (1,15)
	250 - 500 µm	10,90 (1,42)	10,74 (1,24)	2,79 (0,50)	2,90 (0,91)
	500 - 1000 µm	1,87 (0,16)	1,86 (0,19)	0,79 (0,15)	0,71 (0,02)
	1000 - 2000 µm	0,17 (0,08)	0,15 (0,17)	0,65 (0,04)	0,78 (0,03)
Clase textural	a	aF	FA	A	

Muestreo y determinaciones analíticas

Suelos: Antes del establecimiento del ensayo se tomaron muestras disturbadas para la caracterización inicial de los suelos (año 1999), cuyos resultados se presentan en los cuadros 1 y 2. Posteriormente, en la época de floración del maíz del ciclo 2000, se tomaron muestras de suelo en 12 puntos en cada parcela experimental para evaluar el cambio en las propiedades químicas del suelo por efecto del establecimiento del sistema propuesto, a las profundidades señaladas. En ambas épocas el diseño de muestreo fue completamente al azar. Las muestras de suelo colectadas se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de 2 mm, y se determinó por duplicado: distribución de tamaño de partícula por el método de Bouyoucos (Pla, 1983), pH en relación suelo:agua 1:1, acidez intercambiable (acidez total, aluminio e hidrógeno intercambiables), capacidad de intercambio catiónico por el método de acetato de amonio 1 M pH 7 (Anderson e Ingram, 1993), carbono orgánico (Heanes, 1984), nitrógeno amoniacal y nítrico utilizando cloruro de potasio 2 M como extractante y destilación en microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1983); fósforo disponible extraído con la solución de Olsen y detectado por el método colorimétrico del molibdato de amonio - ácido ascórbico (Watanabe y Olsen, 1965); potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio 1 M y neutro y detección por absorción atómica y los microelementos hierro, cobre, zinc y manganeso extraídos por Mehlich 1 y determinados por absorción atómica.

Coberturas: Antes del corte para la siembra del maíz del ciclo 2000, se tomaron muestras de las coberturas, lanzando un marco metálico de 0,25 m², seis (6) veces al azar en cada parcela. Se colectó el material en pie y la cobertura al ras del suelo en forma separada y se determinó su biomasa con base a peso seco. Durante el período de crecimiento del maíz, se realizaron evaluaciones de la cobertura a los 15, 30, 45, 60 y 90 días después de la siembra del maíz, se midió porcentaje de cobertura y biomasa en pie (viva) por el método de la transecta descrito por Sloneker y Moldenhaber (1977). Para las evaluaciones de biomasa en cada época se lanzó un marco metálico de 0,25 m² entre las hileras del maíz, seis (6) veces en cada unidad experimental. Una vez tomadas las muestras de cobertura en cada época fueron llevadas a estufa a 60 ° C por 48 horas para obtener el peso de la materia seca (g.m²).

Cultivo de maíz: Como variables del maíz se midió: a) altura de las plantas presentes al frente de la marco metálico de 0,25 m², cuando esta fue lanzada en cada unidad experimental para tomar las coberturas, midiendo con cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, estas medidas se realizaron cada 15 días hasta la etapa de floración, ya que después de esa época el maíz no continúa su crecimiento; b) estado nutricional del cultivo, para lo cual se realizaron análisis químicos de los macronutrientes esenciales en muestras de tejido vegetal tomadas en época de inicio de floración, a alrededor de 25 plantas por parcelas (a los 60 días en ambos suelos), para este análisis se muestreó la hoja inmediatamente debajo de la mazorca de plantas que se encontraban alrededor del sitio de muestreo y c) el rendimiento en grano a 12 % de humedad al momento de la cosecha, para lo cual se colectaron todas las plantas en un área de 25 m², 6 veces en cada unidad experimental.

Para el procesamiento estadístico de los datos para maíz y coberturas se utilizó el paquete estadístico Statistix para Windows. Los resultados fueron sometidos previamente a un análisis exploratorio para la detección y eliminación de valores atípicos y el cálculo de las medias y desviaciones estándares por profundidad en ambos suelos (Tukey, 1997). Para la determinación del efecto de los tipos de coberturas sobre el cultivo y las coberturas se utilizó un análisis de varianza. Como sugiere Chacín (2000), los datos de cada variable fueron sometidos previamente, a las pruebas de normalidad de Will-Shapiro y de homogeneidad de varianza de Barlett; en el caso de las variables agronómicas de las coberturas (porcentaje de cobertura, biomasa acumulada y malezas) no mostraron una distribución normal y/o presentaron heterocedasticidad, por lo cual se analizaron por pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis), mientras que a las variables agronómicas de maíz se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias por la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Cuadro 2. Características químicas de los suelos La iguana y San Pablo antes de establecer los ensayos (n = 12).

Parámetro evaluado	La Iguana			San Pablo		
	0 - 5 cm	5 - 15 cm	15 - 30 cm	0 - 5 cm	5 - 10 cm	15 - 30 cm
pH en agua (1:1)	5,17 (0,36) ¹⁾	5,04 (0,46)	4,55 (0,60)	5,41 (0,52)	5,58 (0,54)	5,80 (0,61)
Al intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	0,12 (0,03)	0,15 (0,05)	0,30 (0,09)	0	0	0
CE (mS cm ⁻¹)	0,022 (0,009)	0,012 (0,009)	0,009 (0,004)	0,068 (0,012)	0,052 (0,013)	0,054 (0,016)
Carbono orgánico (g.kg ⁻¹)	7,1 (1,6)	4,6 (1,5)	2,9 (0,8)	1,54 (0,19)	1,34(0,20)	1,07 (0,09)
Nitrógeno total (g.kg ⁻¹)	0,32 (0,01)	0,25 (0,02)	0,09 (0,01)	1,08 (0,3)	1,22 (0,2)	0,90 (0,3)
Capacidad de intercambio catiónico (cmol _c kg ⁻¹)	2,08 (0,82)	1,21 (0,69)	1,06 (0,46)	26,8 (8,4)	19,9 (9,3)	20,3 (7,7)
P disponible (mg kg ⁻¹)	4,0 (0,9)	3,2 (0,3)	0,3 (0,0)	9,2 (3,2)	8,8 (3,8)	3,1 (1,6)
K intercambiable (mg kg ⁻¹)	41 (8)	20 (3)	18 (2)	131 (52)	76 (34)	76 (31)
Ca intercambiable (mg kg ⁻¹)	220 (38)	119 (45)	92 (27)	2146 (858)	1370 (769)	1352 (924)
Mg intercambiable (mg kg ⁻¹)	99 (15)	53 (11)	48 (9)	1584 (792)	1496 (730)	1465 (524)
N inorgánico (mg.kg ⁻¹)	31,0 (0,9)	21,6 (1,0)	17,8 (1,49)	54,9 (9,5)	48,7 (7,8)	45,6 (7,2)
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	8,9 (0,8)	7,3 (0,5)	6,2 (0,8)	21,7 (6,6)	18,4 (5,5)	17,3 (3,8)
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	22,1 (1,0)	14,3 (1,6)	11,6 (2,1)	33,2 (12,4)	30,3 (10,1)	28,3 (10,7)
Fe disponible (mg kg ⁻¹)	32,2 (11,6)	98,2 (12,1)	110,8 (9,2)	206,0 (87,1)	211,6 (89,8)	149,1 (64,0)
Cu disponible (mg kg ⁻¹)	0,8 (0,2)	1,0 (0,2)	1,1 (0,3)	2,3 (0,9)	2,4 (0,9)	2,2 (0,7)
Zn disponible (mg kg ⁻¹)	2,6 (0,8)	1,6 (0,8)	1,4 (0,9)	3,5 (1,3)	4,3 (2,1)	3,9 (1,8)
Mn disponible (mg kg ⁻¹)	17,9 (5,9)	9,5 (5,4)	7,5 (3,2)	44,5 (10,8)	42,1 (18,5)	32,3 (11,3)
Relación C:N	22 (8)	31 (19)	32 (14)	15 (4)	11 (1)	13 (4)
Relación Ca/Mg	1,5 (0,3)	1,3 (0,2)	1,0 (0,4)	0,8 (0,3)	0,6 (0,2)	0,5 (0,2)
Relación Mg/K	7,9 (1,5)	8,9 (1,3)	9,4 (2,1)	49 (27)	50 (22)	56 (25)
Relación (Ca+Mg)/K	19,9 (2,6)	20,6 (3,5)	18,8 (3,3)	74 (39)	68 (27)	78 (28)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de crecimiento de las coberturas

Porcentaje de cobertura: Se midió el porcentaje de cobertura de cada uno de los tratamientos establecidos durante el desarrollo del maíz en el ciclo 2000, como una medida de persistencia de los cultivos de cobertura bajo el sistema de manejo planteado. En la figura 2 se presentan los porcentajes de cobertura medidos a los 15, 30, 45, 60 y 90 días después de la siembra (dds) del maíz, para los suelos IGU y SPA. En el suelo SPA, los tratamientos presentaron un bajo porcentaje de cobertura durante el ciclo del maíz, con excepción de VN. Los porcentajes de cobertura estuvieron para VN entre 8 y 78 % con un máximo a los 30 dds, para CM de 5 a 42 % con un máximo a los 45 dds y en BH de 2 a 25 % con un máximo a los 60 dds, lo que indica una recuperación diferencial de las coberturas luego de la aplicación del herbicida de contacto, siendo más resistente al manejo los primeros 45 dds el tratamiento VN. En el suelo IGU, se aprecia un bajo porcentaje de cobertura (menor a 10%) en

los primeros 30 días, lo que indica un buen control de la cobertura con el herbicida de contacto aplicado. A partir de los 45 dds, se presentan diferencias entre los tipos de cobertura: CM aumenta su cobertura progresivamente de 13 a 53 % al final del período de evaluación; VN presenta un máximo de 70% a los 60 dds, disminuyendo luego a 55 % al final del período de evaluación, tendencia similar se presentó en BDE, pero con porcentajes de cobertura mucho menores (de 30 a 6,67%). En BDY se presenta una máxima cobertura de 80 % a los 45 dds disminuyendo a los 60 dds, pero a diferencia de los otros tratamientos, este pasto se recuperó al final del período con 72 % de cobertura. Los valores máximos de cobertura de todos los tipos de cobertura a los 45 ó 60 dds, son posiblemente debidos a una respuesta al reabono aplicado al maíz. Es importante destacar las diferencias entre las dos especies de *Brachiarias* en el suelo IGU, donde la BDY tuvo entre 30 y 70% más cobertura que BDE. La disminución del porcentaje de cobertura en algunas épocas se atribuye a la escasez de precipitación durante dichos períodos, como también a la competencia entre el cultivo y las coberturas, obteniendo una mejor respuesta el cultivo de maíz, aunque es difícil determinar el recurso por el cual están compitiendo las plantas en una comunidad vegetal, ya que la competencia que empieza por un recurso se puede trasladar a otro, tal y como lo indica Baruch y Fisher (1988).

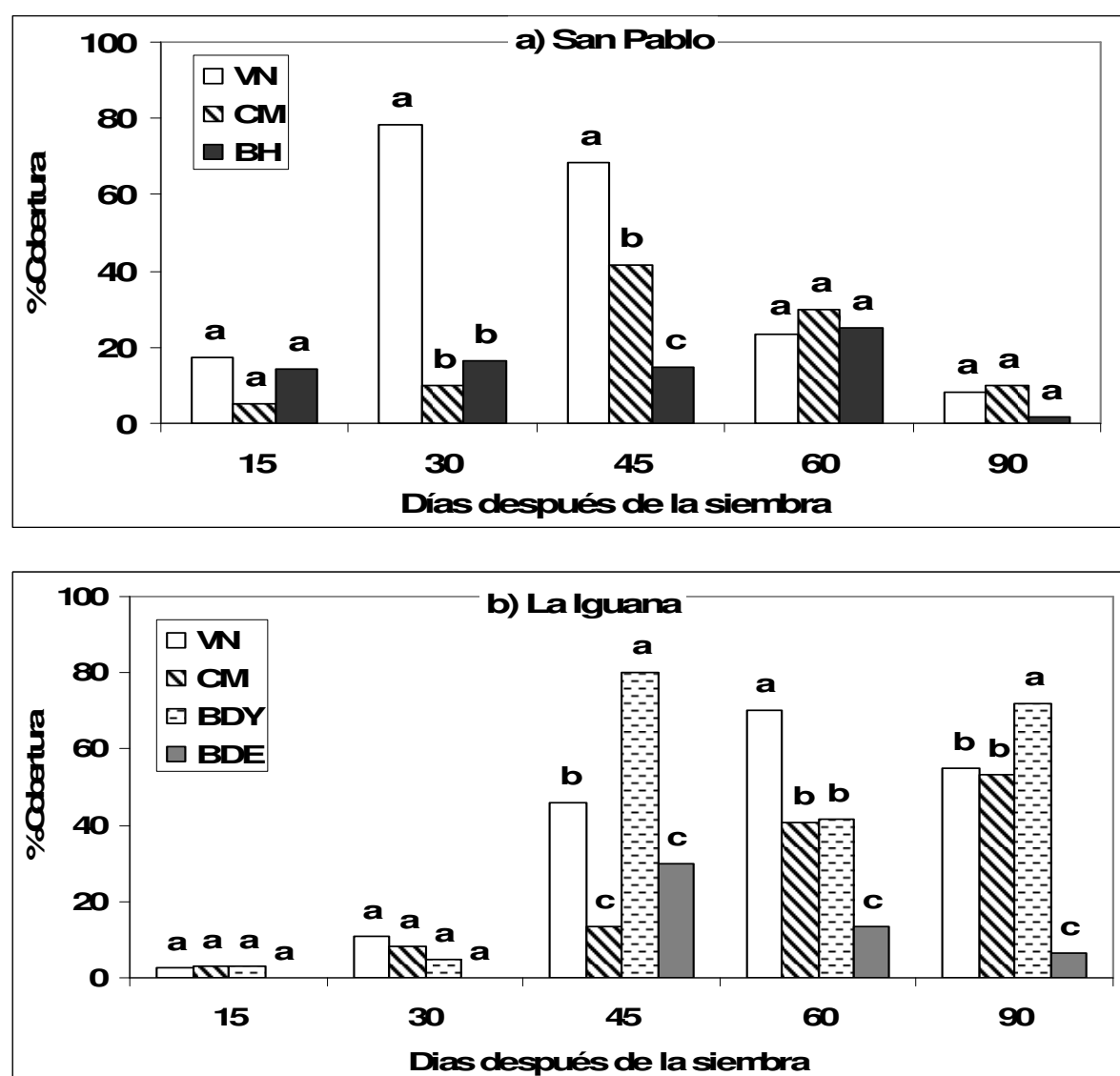


Figura 2. Porcentaje de cobertura de los diferentes tratamientos en los suelos a) San Pablo y b) La Iguana.

Biomasa acumulada de las coberturas: En el suelo SPA la biomasa acumulada varió en los diferentes periodos evaluados y entre tratamientos. En este último caso la mayor producción de biomasa (Figura 3) se presentó en el tratamiento VN con una variación de 34 -100 g m⁻² de materia seca. Cabe destacar que en el tratamiento CM al inicio de las evaluaciones es nula, es decir no se observó material vegetal sobre el suelo hasta los 60 días, donde alcanzó un valor de 27 g m⁻² de materia seca, teniendo una mayor cobertura a los 90 días con una producción de biomasa acumulada de 175 g m⁻² materia seca, la cual es superior al resto de los tipos de cobertura en los periodos evaluados. En BH la biomasa varió entre 25 - 52 g m⁻², con la mayor proporción a los 60 dds.

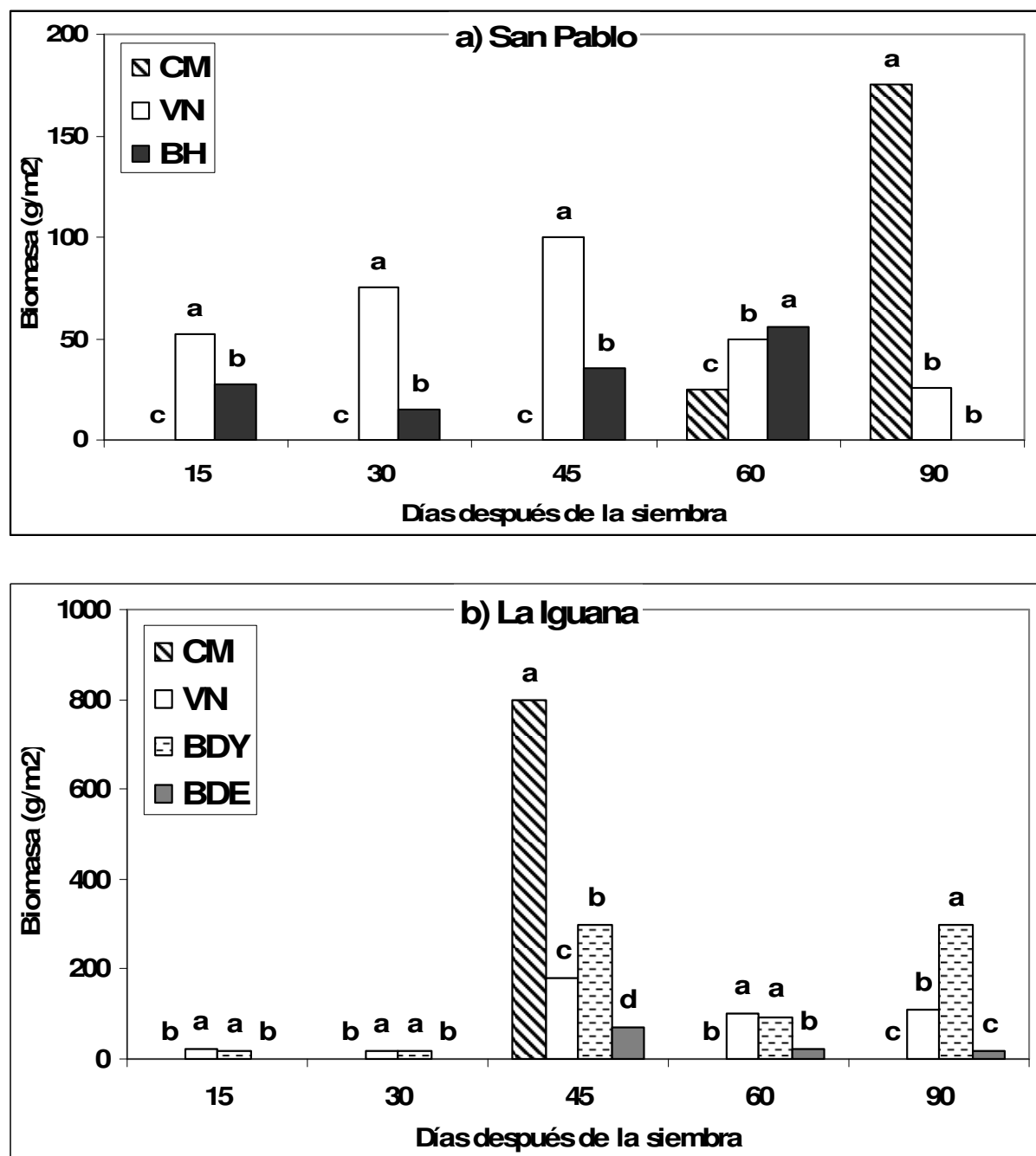


Figura 3. Biomasa acumulada de las coberturas durante el periodo de evaluación en los suelos a) San Pablo y b) La Iguana.

En el suelo IGU, no hubo producción de biomasa en CM y BDE a los 15 y 30 dds, sin diferencias estadísticas entre VN y BDY con 26 y 20 g m⁻², respectivamente. En el tratamiento BDY la biomasa aumentó apreciablemente después de los 45 dds, alcanzando valores entre 100 y 300 g m⁻². A los 45 días el tratamiento que presentó mayor producción de biomasa fue el CM con promedio de 828 g m⁻² de materia seca, superando al resto de los tratamientos los cuales presentaron valores de 136 g m⁻² de materia seca para la VN y 75 g m⁻² de materia seca para el tratamiento BDE. Se observó una disminución en la producción de biomasa a los 60 dds en todos los tratamientos, posiblemente por la mayor cobertura del maíz. Mientras que a los 90 días la mayor producción de biomasa se produjo en el tratamiento BDY con un promedio de 296 g m⁻², seguido del tratamiento VN con 117 g m⁻².

Propiedades químicas del suelo

Reacción del suelo pH: En el suelo IGU, esta variable presentó diferencias estadísticas ($p < 0,05$) por efecto de los cultivos de cobertura y a las profundidades evaluadas. En relación a los valores iniciales (Cuadro 2), se produjo una disminución del pH en los tratamientos VN, CM y BDE, mientras que para BDY se produjo un aumento del pH en aproximadamente 0,25 unidades (Cuadro 3). La tendencia general de todos los tratamientos es a disminuir con relación a los valores iniciales, presentándose valores mayores en el tratamiento BDY (alrededor de 0,5 unidades) y significativamente diferentes al resto de los tratamientos, en todas las profundidades. Las disminuciones del pH se pueden atribuir a la descomposición de los residuos en superficie o a la nitrificación del amonio proveniente del fertilizante aplicado al cultivo, tal y como lo sugiere Eckert (1991). El pH es mayor en capa de 0 a 5 cm (alrededor de 3 %), con relación a las otras dos capas, especialmente en el tratamiento BDY. Es importante destacar la similitud en los valores de pH en los tratamientos VN y CM, lo cual puede ser debido a que en este suelo la VN está compuesta principalmente por leguminosas (Bravo *et al.*, 2000). En el suelo SPA, se presentaron diferencias estadísticas entre coberturas a todas las profundidades y entre profundidades solo para la cobertura CM entre la primera y última capa (Cuadro 4). Con relación a los valores iniciales, se produjo una disminución en el pH de alrededor del 9% para el tratamiento CM a todas las profundidades, mientras que el resto de los tratamientos presentó valores similares a los iniciales. Los tratamientos VN y BH presentan tendencias similares y presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) al tratamiento CM.

Conductividad eléctrica (CE): En ambos suelos estudiados los valores de CE son sumamente bajos y sus aumentos en algunos tratamientos pueden ser atribuidos a un aumento en la solubilidad de algunos elementos y no constituye ningún riesgo de salinidad. Los resultados de CE en el suelo IGU son muy bajos, en un rango entre 0,02 y 0,15 mS.cm⁻¹ (Cuadro 3). En forma general se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con la profundidad, con los mayores valores en la capa superficial producto de la mineralización de la materia orgánica y de la aplicación de fertilizantes al cultivo, pero se presentaron diferencias entre tratamientos. En SPA, tampoco se presentaron diferencias en la CE entre los tipos de cobertura, ni entre profundidades. Los valores estuvieron entre 0,14 y 0,20 mS.cm⁻¹ (Cuadro 4), estos valores son mucho mayores que los del suelo IGU, posiblemente debido a su mayor fertilidad natural o a las características del material parental.

Acidez total (AT) y aluminio intercambiable (Al): En el suelo IGU los valores de AT están entre 0,20 y 1,08 cmol.kg⁻¹, y los de Al entre 0,20 y 0,95 cmol.kg⁻¹ (Cuadro 3). Ambos atributos son más bajos en el horizonte superficial y aumentan con la profundidad. El Al representa entre 10 y 23 % de la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) en la primera capa del suelo (0 a 5 cm), de 18 a 58 % en la capa de 5 a 15 cm y de 29 a 48 % en la capa de 15 a 30 cm. El aumento con la profundidad puede estar relacionado a diferencias en la composición química de los horizontes y el aumento a nivel superficial en algunos tratamientos a la liberación de iones ácidos por la disminución del pH y aumento en la materia orgánica.

Cuadro 3. Características químicas bajo los tipos de cobertura en el suelo La Iguana en la época de floración del cultivo de maíz (ciclo 2000).

Parámetro evaluado	Profundidad (cm)											
	0 – 5				5 – 15				15 – 30			
	CM	VN	BDY	BDE	CM	VN	BDY	BDE	CM	VN	BDY	BDE
pH (1:1)	4,57 c ¹ A ²	4,96 bA	5,46 aA	4,88 bA	4,45 cAB	4,67 bB	4,90 aB	4,39 cB	4,29 bB	4,60 aB	4,68 aB	4,37 bB
CE (mS.cm ⁻¹)	0,13 aA	0,15 aA	0,15 aA	0,11 aA	0,05 aB	0,07 aB	0,08 aB	0,05 aB	0,03 aC	0,02 aC	0,03 aC	0,04 aB
Al Interc. (cmol _c kg ⁻¹)	0,28 aB	0,20 bB	0,20 bB	0,28 aB	0,57 aA	0,25 bB	0,33 bA	0,66 aAB	0,67 bA	0,57 bA	0,52 bA	0,95 aA
Acidez total (cmol _c kg ⁻¹)	0,37 aB	0,30 aB	0,23 bB	0,20 bB	0,62 aA	0,33 bB	0,38 bA	0,91 aA	0,76 cA	0,84 bA	0,62 cA	1,08 aA
CO (g.kg ⁻¹)	7,7 bA	8,7 bA	13,0 aA	13,5 aA	6,8 bB	5,8 bB	12,7 aA	8,1 bB	3,4 aC	2,9 aC	2,8 aB	3,5 aB
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	1,13 bA	1,94 aA	1,84 aA	1,37 bA	0,87 bB	1,11 aB	0,63 cB	0,46 dB	0,47 aC	0,45 aC	0,54 aB	0,45 aB
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	43,5 aB	45,7 aB	44,4 aB	43,0 aB	42,8 bB	35,0 bB	56,1 aA	63,8 aA	58,0 aA	55,7 aA	47,1 bC	30,2 cC
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	4,0 bA	6,6 aA	6,7 aA	4,7 bA	3,9 cA	4,9 bAB	5,9 aA	5,9 aA	4,1 bA	3,2 bB	7,9 aA	7,1 aA
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	39,5 aB	39,1 aB	37,7 aB	38,3 aB	38,9 bB	30,1 bB	50,2 aA	57,9 aA	53,9 aA	52,5 aA	39,2 bB	23,1 cC
P (mg kg ⁻¹)	7,5 aAB	5,4 bA	3,3 cB	3,9 cB	8,4 aA	4,8 bA	5,0 bA	5,8 bA	6,0 aB	4,8 cA	5,4 bA	3,6 dB
K (mg kg ⁻¹)	16 cA	44 aA	60 aA	28 bA	19 bA	9 cB	24 aB	27 aB	11 bB	8 cB	17 aB	10 cC
Ca (mg kg ⁻¹)	115 bA	142 aA	136 bA	109 bA	104 aA	139 aA	66 bB	44 bB	52 aB	46 aB	58 aB	53 aB
Mg (mg kg ⁻¹)	61 cA	118 aA	119 aA	91 bA	32 bB	44 aB	27 cB	22 dB	18 bC	21 aC	23 aB	18 bB
Na (mg kg ⁻¹)	5 bB	13 aA	8 bA	5 bA	7 aAB	13 aA	5 aAB	3 aA	9 aA	7 aB	3 aB	5 aA

CE: Conductividad eléctrica; Al Inter: Aluminio intercambiable; CO: Carbono orgánico, CIC: Capacidad de intercambio catiónico.
¹) Las letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre coberturas para una misma profundidad; ²) Las letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades para una misma cobertura (Tukey, p < 0,05).

Para este suelo se presentaron diferencias en AT y Al por efecto de los tipos de cobertura, a nivel superficial los más altos valores tanto de AT como Al se presentaron en CM, mientras que por debajo de los 5 cm los mayores valores se presentaron en BDE. En el suelo SPA, al igual que para IGU se presentaron diferencias en la AT y el Al, entre los tipos de cobertura a todas las profundidades evaluadas (Cuadro 4). Se puede apreciar que los valores de AT varían entre 0,10 y 0,81 cmol_c kg⁻¹ y los de Al de 0,10 a 0,76 cmol_c kg⁻¹, mayor acidez a nivel superficial en BH y VN, mientras que por debajo de los 10 cm, la mayor acidez y contenido de Al se presenta en el tratamiento CM; sin embargo, el Al intercambiable de ambos suelos se considera bajo (menos de 1 cmol kg⁻¹) y representa entre el 73 y 100 % de la AT y entre el 9 y 68% de la CICE en el suelo IGU y entre el 61 y 100 % de la AT y entre el 1 y 7 % de la CICE en el suelo SPA; con excepción del tratamiento BDE en la última capa del suelo IGU, estos valores están por debajo del 60% sugerido por Casanova (1994) como limitantes para los cultivos.

Cuadro 4. Características químicas bajo los tipos de cobertura en el suelo San Pablo en la época de floración del cultivo de maíz (ciclo 2000).

Parámetro evaluado	Profundidad (cm)								
	0 - 5			5 - 10			10 - 20		
	CM	VN	BH	CM	VN	BH	CM	VN	BH
pH (1:1)	4,95 b ¹ B ²	5,40 aA	5,32 aA	5,05 bAB	5,36 aA	5,63 aA	5,28 bA	5,70 aA	5,57 aA
CE (mS cm ⁻¹)	0,18 aA	0,15 aA	0,19 aA	0,20 aA	0,14 aA	0,17 aA	0,20 aA	0,19 aA	0,16 aA
Al interc. (cmol _c kg ⁻¹)	0,17 bB	0,33 aA	0,33 aB	0,76 aA	0,20 cB	0,54 bA	0,40 aB	0,10 cB	0,22 bB
Acidez total (cmol _c kg ⁻¹)	0,25 bC	0,50 aA	0,43 aB	0,81 aA	0,33 cB	0,60 bA	0,45 aB	0,10 cC	0,27 bB
CO (g.kg ⁻¹)	11,1 bA	12,0 aA	12,0 aA	8,6 aB	7,1 bB	8,3 aB	7,1 bC	8,7 aB	7,4 bC
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	14,8 aA	10,0 bA	13,5 bA	9,5 bA	9,2 bB	13,5 aA	12,8 bA	11,6 cA	16,1 aA
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	75,3 aA	56,0 bA	56,9 bA	40,2 bB	38,3 bB	54,4 aA	43,8 bB	56,4 aA	33,6 cB
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	10,4 bA	13,3 aA	10,7 bA	10,9 aA	3,9 bB	10,2 aA	4,0 aB	2,0 aB	4,1 aB
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	64,9 aA	42,7 cB	46,2 bA	29,3 cB	34,4 bB	44,2 aA	39,8 bB	54,4 aA	29,5 cB
P (mg kg ⁻¹)	18,6 aA	14,8 bA	11,1 cA	7,9 aAB	4,3 bB	3,0 cB	3,5 aB	1,3 bB	1,4 bB
K (mg kg ⁻¹)	256 bA	329 aA	184 bA	85 bB	70 bB	114 aB	59 bB	62 bB	85 aB
Ca (mg kg ⁻¹)	1033 aA	887 cA	1003 bA	441 bC	596 bA	797 aA	805 aB	818 aA	987 aA
Mg (mg kg ⁻¹)	1077 aA	570 bA	965 bB	818 aA	709 bA	1098 aAB	1028 bA	868 cA	1320 aA
Na (mg kg ⁻¹)	37 aB	19 cB	23 bA	85 aA	52 aA	51 aA	26 aB	53 aA	30 aA

CE: Conductividad eléctrica; Al Inter: Aluminio intercambiable; CO: Carbono orgánico; CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

¹) Las letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre coberturas para una misma profundidad;

²) Las letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades para una misma cobertura (Tukey, $p < 0$).

Carbono orgánico (CO): En el cuadro 3, se presenta la variación de los contenidos de CO en los tratamientos evaluados en el suelo IGU, a las profundidades consideradas. Para este parámetro se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y con la profundidad. Con el establecimiento de los cultivos de cobertura, se produjo un incremento apreciable del CO a nivel superficial, con relación a los valores iniciales en todos los tratamientos (entre 8 y 90 %), principalmente en el tratamiento BDE. Los mayores valores se presentan a nivel superficial, entre 7,7 y 13,5 %, seguido de la capa de 5 a 15 cm con contenidos entre 5,8 y 12,7 % y entre 2,8 y 3,5 % en la última capa. Las mayores diferencias entre tratamientos se presentan en la capa superficial con mayores valores en los tratamientos BDY y BDE, sin diferencias en la capa más profunda (15 a 30 cm). Estas diferencias son producto del mayor aporte de residuos en BDY y la descomposición diferencial de las raíces de los diferentes cultivos de cobertura, tal y como lo señala Padrino (2005). En el suelo SPA (Cuadro 4), se presenta la variación de los contenidos de CO en los diferentes a las profundidades consideradas. En este suelo se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, y con la profundidad. Con relación a los contenidos iniciales, el CO disminuyó en todos los tratamientos a las profundidades consideradas, posiblemente debido al efecto de la labranza para el establecimiento de las coberturas. En la capa superficial la disminución fue cercana al 30 %, en la segunda capa alrededor del 40% y en la tercera entre 20 y 30 %.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): En los dos suelos evaluados en este trabajo, la CIC disminuyó a nivel superficial con relación a los valores iniciales, en casi todos los tratamientos. Se puede apreciar en el cuadro 3 que la CIC en el suelo IGU disminuyó para los tratamientos VN, CM y BDE a las tres profundidades consideradas entre 40 y 60 %. La disminución de la CIC en este suelo puede

ser debido al predominio en la fracción arcilla de coloides de carga variable del tipo 1:1 (Matheus, 1986). Las diferencias entre tratamientos se presentan sólo en las dos primeras capas (0 a 15 cm), donde los valores de CIC más altos se presentan en los tratamientos VN y BDY, por ser en estos tratamientos donde se presentan los mayores valores de pH del suelo. En el suelo SPA (Cuadro 4), la CIC tiene una tendencia diferente en cada capa de suelo. A nivel superficial (0 a 5 cm) se produjo una disminución en relación a los valores iniciales entre 44 y 62 % en todos los tratamientos, con los mayores valores en CM; en la capa de 5 a 10 cm los valores son similares en CM y VN, con diferencias estadísticas con BH, y con una disminución entre el 32 y 53 % en relación a los valores iniciales, mientras que en la capa de 10 a 20 cm se produjo una disminución entre 20 y 42 % en relación a los valores iniciales, con los mayores valores en el tratamiento BH.

Nitrógeno inorgánico (Ni): En este trabajo se evaluó el nitrógeno inorgánico (N-NO₃ y N-NH₄) a todas las profundidades de ambos suelos. Ambas variables como índices de disponibilidad de N para el cultivo (Dou *et al.*, 1995). En el cuadro 3, se puede apreciar que el contenido de nitrógeno inorgánico (NH₄+NO₃) del suelo IGU aumentó en la mayoría de los tratamientos a todas las profundidades por efecto de la implantación del sistema maíz sobre los cultivos de cobertura, debido posiblemente a las aplicaciones del elemento para la fertilización del maíz. En la primera capa no se presentaron diferencias entre los tipos de cobertura, en la segunda capa los mayores valores se presentaron en los tratamientos con gramínea y en la última capa en los tratamientos donde predominaron las leguminosas, lo que puede estar asociado a incorporación del N por la descomposición de las raíces. Es importante destacar que del Ni en este suelo, alrededor del 70 % es amonio y el resto es nitrato. Los contenidos de N-NO₃ son bajos en todos los tratamientos y profundidades, con valores entre 4 y 8 mg kg⁻¹, mayores en los tratamientos con gramíneas a todas las profundidades; mientras que los de N-NH₄ están entre 30 y 58 mg kg⁻¹, sin diferencias entre tratamientos en la primera capa, con mayores valores para los tratamientos de gramínea en la segunda capa y con mayores valores en los tratamientos con leguminosas en la última capa. El N-NH₄ representa entre 76 y 93 % del Ni. Los contenidos de Ni, N-NH₄ y N-NO₃ del suelo SPA se presentan en el cuadro 4, para todos los tratamientos y profundidades. Los contenidos de Ni y N-NH₄ presentaron una tendencia diferencial dependiendo del tratamiento, en la primera capa los mayores valores se presentaron en CM, en la segunda en BH y en la última capa en VN. De este Ni entre el 73 y 91 % es N-NH₄ y el resto N-NO₃, éste presentó valores muy bajos, entre 2 y 11 mg kg⁻¹. Los mayores contenidos de N-NH₄ en ambos suelos indican que se presentaron limitaciones para la nitrificación.

Fósforo disponible (P): En el cuadro 3 se presentan los contenidos de P disponible en el suelo IGU en los tratamientos y profundidades consideradas. Se presentaron diferencias estadísticas significativas (p<0,05) entre tipos de coberturas, con los mayores valores de P disponible en el tratamiento CM, y con la profundidad, donde para CM y BDE los mayores valores de P disponible se presentan en la capa de 5 a 15 cm, en VN en la capa de 0 a 5 cm y en BDY en la capa de 15 a 30 cm, lo que pudiera estar asociado a diferencias en la extracción del elemento por parte de los cultivos de cobertura con sistemas radicales diferentes. Con el establecimiento de las coberturas se produjo un incremento del P, más evidente en la capa de 15 a 30 cm, producto de la aplicación del elemento como fertilizante tanto para el establecimiento de las coberturas, como para la siembra del maíz. Los valores más bajos de la capa superficial, se presentan en el tratamiento BDY Y BDE, significativamente diferentes (p< 0,05) al resto de los tratamientos. En las dos últimas capas (5 a 30 cm), el tratamiento CM presenta los valores de P más altos (entre 20 y 75 % mayores). La dinámica del P tiene una tendencia contraria a la del pH en este suelo, a mayores valores de pH disminuye el P disponible, especialmente en los tratamientos BDY y CM. Esta tendencia pudiera estar relacionada con un efecto residual de la roca fosfórica aplicada en el año 1999, donde la disolución está controlada por el pH del suelo en cada tratamiento. En el suelo SPA (Cuadro 4), los contenidos de P disponibles son mayores para todos los tratamientos en la primera capa. En las dos primeras capas la tendencia es a aumentar, mientras que en la última (10 a 20 cm) los valores de P se mantienen similares a los iniciales en un rango entre 1,3 y 3,5 mg kg⁻¹ durante el período evaluado en todos los tratamientos. Esta tendencia se puede atribuir a la naturaleza poco móvil del elemento y a la profundidad de incorporación de la roca fosfórica en el año 1999. Los mayores contenidos de P disponibles se presentaron en CM a todas las profundidades y al igual que para el suelo IGU, la dinámica del P se pudiera asociar a disolución de la roca fosfórica residual por efecto del pH o a un efecto diferencial de exudados de las raíces de las diferentes coberturas.

Potasio disponible (K): En el suelo IGU se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tipos de cobertura y entre las profundidades evaluadas, con los mayores contenidos de K a nivel superficial en VN y BDY (Cuadro 3); en la segunda capa los mayores valores se presentaron en BDY y BDE y en la tercera en BDY. Con relación a las diferencias entre profundidades, en CM los mayores valores se presentaron en la segunda capa, mientras que para el resto de los tratamientos (VN, BDY y BDE), el K se concentró en la primera capa (0 a 5 cm). Los mayores contenidos de K en BDY pueden ser atribuidos a los mayores pH y CIC del suelo en este tratamiento, lo que permite que en este tratamiento se produzca una mayor retención tanto del K aplicado como fertilizante, como el producto de la mineralización de los residuos. En los tratamientos VN y CM, donde los residuos tienen menor relación C/N (CM 29, VN = 39, BDY = 44, BDE = 50), posiblemente se produjeron mayores pérdidas por lixiviación del elemento. En el suelo SPA (Cuadro 4) los contenidos de K presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y entre profundidades. Los mayores valores se presentan a nivel superficial para todos los tipos de cobertura, en un rango entre 184 y 329 mg kg⁻¹, aumentando en relación a los contenidos iniciales, lo que se puede atribuir a las aplicaciones de fertilizante potásico al cultivo de maíz y a la menor movilidad dentro del perfil debido a la naturaleza arcillosa del suelo. En la capa de 5 a 10 cm el K varió entre 70 y 114 mg kg⁻¹ y en la más profunda entre 59 y 85 mg kg⁻¹. No se pudo identificar un tratamiento que produzca los mayores valores de K en todas las profundidades, ya que en la capa de 0 a 5 cm los mayores valores se presentaron en VN y en las dos capas restantes en BH.

Calcio disponible (Ca): La variación de los contenidos de calcio en ambos suelos evaluados es un reflejo del balance entre el Ca aportado por la descomposición de los residuos dejados en superficie, la solubilización de la roca fosfórica residual de la aplicación en 1999, la absorción por parte del cultivo y la lixiviación del elemento, principalmente en el suelo IGU. Para este suelo, los contenidos de Ca se presentan en el cuadro 3, en el mismo se destaca una variación del Ca intercambiable por efecto de los cultivos de cobertura en las dos primeras profundidades consideradas, sin diferencias entre tipos de cobertura para la última capa. Los contenidos variaron entre 109 y 142 mg kg⁻¹ a la profundidad de 0 a 5 cm, entre 44 y 139 mg kg⁻¹ en la capa de 5 a 15 cm y de 46 a 58 mg kg⁻¹ en la última capa. Los mayores contenidos se presentaron para todos los tratamientos en la primera capa y en el tratamiento VN de 0 a 15 cm. Con relación a los valores del suelo en condiciones iniciales, en la primera capa se produjo una disminución de los contenidos de Ca entre el 38 y 50 %, en la segunda entre 13 y 63 % con excepción de VN y en la capa de 15 a 30 cm de 37 a 50 %. Para el suelo SPA, luego del establecimiento de las coberturas en este suelo, los contenidos de Ca disminuyeron a todas las profundidades, posiblemente debido a la absorción por parte de los cultivos de cobertura (Cuadro 4). Los contenidos de Ca se encuentran en el rango entre 887 y 1033 mg kg⁻¹, en la capa de 0 a 5 cm, entre 441 y 797 mg kg⁻¹, en la capa de 5 a 10 cm y entre 805 a 987 mg kg⁻¹, en la capa de 10 a 20 cm. Se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) solo en las dos primeras capas, con mayores valores en CM en la primera capa y en BH en la segunda. En las capas más profundas, el contenido de Ca está relacionado positiva y significativamente con el pH del suelo, con $r = 0,375^*$ en la capa de 10 a 20 y $r = 0,532^{**}$ en la capa de 5 a 10 cm, lo que indica que su disponibilidad pudiera estar asociada a una mayor solubilización de la roca fosfórica residual en los tratamientos donde el pH es más bajo.

Magnesio disponible (Mg): Los contenidos de Mg de ambos suelos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tipos de cobertura y en el suelo IGU, también se presentaron diferencias entre las profundidades consideradas. Los resultados para el suelo IGU se presentan en el cuadro 3, donde se aprecia que los contenidos de Mg varían entre 61 y 119 mg kg⁻¹ en la capa superficial (0 a 5 cm), entre 22 y 44 mg kg⁻¹ en la capa de 5 a 15 cm y de 18 a 23 mg kg⁻¹ en la última capa. Con relación a los valores del suelo en condiciones iniciales, se produjo una disminución en el Mg disponible en CM y BDE y un aumento en el resto de los tratamientos en la primera capa, así como una disminución en la segunda y tercera capa, debido posiblemente a la absorción del elemento por parte de las coberturas. En todas las profundidades los mayores contenidos de Mg se presentaron en la cobertura VN. En todos los tratamientos los mayores contenidos de Mg se presentaron en la primera capa. En el suelo SPA se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos a todas las profundidades evaluadas (Cuadro 4). Por efecto de los cultivos de cobertura los contenidos de Mg disminuyeron en todos los tratamientos, con relación a los contenidos iniciales. Los contenidos de Mg se encuentran en el rango entre 570 y 1077 mg kg⁻¹, en la capa de 0 a 5, cm entre 709 y 1098 mg kg⁻¹, en la capa de 5 a 10 cm y entre 868 y 1320 mg kg⁻¹, en la capa de 10 a 20 cm. El tratamiento con menor contenido de Mg

a todas las profundidades fue VN, con diferencias estadísticas entre coberturas a todas las profundidades. En este suelo es importante considerar la baja relación Ca/Mg del suelo en condiciones iniciales (por debajo de 1), siendo la ideal de 1,5, lo que indica exceso de Mg. Los tipos de cobertura produjeron un ligero aumento en la primera capa, en las capas siguientes los valores de la relación estuvieron por debajo de 1.

Sodio disponible (Na): La variación del contenido de Na por efecto de los cultivos de cobertura a las profundidades consideradas en el suelo IGU se presenta en el cuadro 3. Como se aprecia en el cuadro, la tendencia de los contenidos de Na en este suelo es a disminuir en relación a las condiciones iniciales, con los mayores valores en VN en las dos primeras capas y sin diferencias estadísticas entre tratamientos en la última capa. En esta variable no se presentó una tendencia definida en los tratamientos con relación a la profundidad, en el tratamiento CM los mayores valores se presentaron en la capa superficial, en VN en las dos primeras capas, en BDY en la primera capa y en BDE en la primera y última capa. En el suelo SPA (Cuadro 4), luego del establecimiento de las coberturas en este suelo, los contenidos de Na disminuyeron a todas las profundidades posiblemente debido a la absorción por parte de los cultivos de cobertura y a su movilización en el perfil por un cambio en el balance de iones básicos por la fertilización con K y al Ca proveniente de la disolución de la roca fosfórica. Los contenidos de Na se encuentran entre 19 y 37 mg kg⁻¹, en la primera capa, entre 51 y 85 mg kg⁻¹, en la segunda capa y entre 26 y 53 mg kg⁻¹, en la capa más profunda. Solo en la primera capa se presentaron diferencias estadísticas entre coberturas, con los mayores contenidos en el tratamiento CM.

Variables del cultivo de maíz

Altura de plantas de maíz: El efecto de los cultivos de cobertura sobre la altura de las plantas del maíz para ambos suelos evaluados en el ciclo del cultivo del año 2000, se presenta en la figura 4. Como se aprecia en la figura, en el suelo IGU se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en la altura de las plantas en todas las épocas de evaluación, especialmente en las dos últimas, donde las plantas de maíz alcanzaron una mayor altura en los tratamientos VN y CM. En el suelo SPA, se presentaron diferencias entre tratamientos sólo a los 30 y 45 dds, siendo el tratamiento VN, donde el cultivo alcanzó la mayor altura. Estas diferencias de altura pudieran estar asociadas a la absorción diferencial de nutrientes y agua por competencia de las coberturas con el cultivo.

Estado nutricional del cultivo: En el cuadro 5 se presentan los contenidos de macro y micronutrientes en el tejido del maíz, para los suelos IGU y SPA, los mismos reflejan el estado nutricional del cultivo de maíz en el ciclo 2000. Como criterios para su interpretación se utilizaron los señalados por Medina (1989) para los macronutrientes y por Jones (1972) para los micronutrientes. Como se aprecia en el cuadro, en el suelo IGU se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipos de cobertura para los macronutrientes con excepción del N y para los micronutrientes sólo se presentaron diferencias entre coberturas en Mn. Los mayores contenidos de los macronutrientes se presentan en el tratamiento VN. Los contenidos de los elementos N, K y Mg son bajos en todos los tratamientos, mientras que el resto de los elementos se encuentran en el rango de suficiencia. Con relación a los micronutrientes los contenidos también se presentaron en el rango de suficiencia. Es importante destacar que a pesar de los bajos contenidos de P en el suelo en la cobertura BDY, a nivel del tejido vegetal los valores se encontraron en niveles suficientes. En el suelo SPA no se presentaron mayores diferencias entre los tipos de cobertura. Los contenidos de P, Ca, Na y los micronutrientes se encontraron en el rango de suficiencia. Realizando una comparación con los valores estándar reportados por Ramírez (1980), el nitrógeno acumulado fue bajo para los dos suelos evaluados mientras que para el resto de los nutrientes el Ca es alto, el Mg es bajo para la Iguana y suficiente para San Pablo, P es suficiente y el K es deficiente.

Rendimiento en grano: Los rendimientos en grano del cultivo de maíz (12 % de humedad) en los diferentes tipos de cobertura, se presentan en el cuadro 6. En IGU a pesar de que no se evidenciaron diferencias estadísticas entre los tipos de cobertura, los rendimientos más altos se presentaron en el tratamiento VN, cuyos rendimientos son mayores a los de CM, BDE y BDY en un 12, 39 y 44 %, respectivamente. En SPA tampoco se presentaron diferencias estadísticas entre los tipos de cobertura. Los rendimientos de VN están por encima del promedio de la zona de 2500 kg ha⁻¹, pero no en los otros tratamientos. Las coberturas plantadas no afectaron los rendimientos del cultivo, ya que su lento crecimiento inicial después del corte, los hace que el maíz se desarrolle sin competencia. Los mayores rendimientos en algunos tratamientos se pueden atribuir más a un mayor contenido de humedad en el suelo (Bravo et al., 2001).

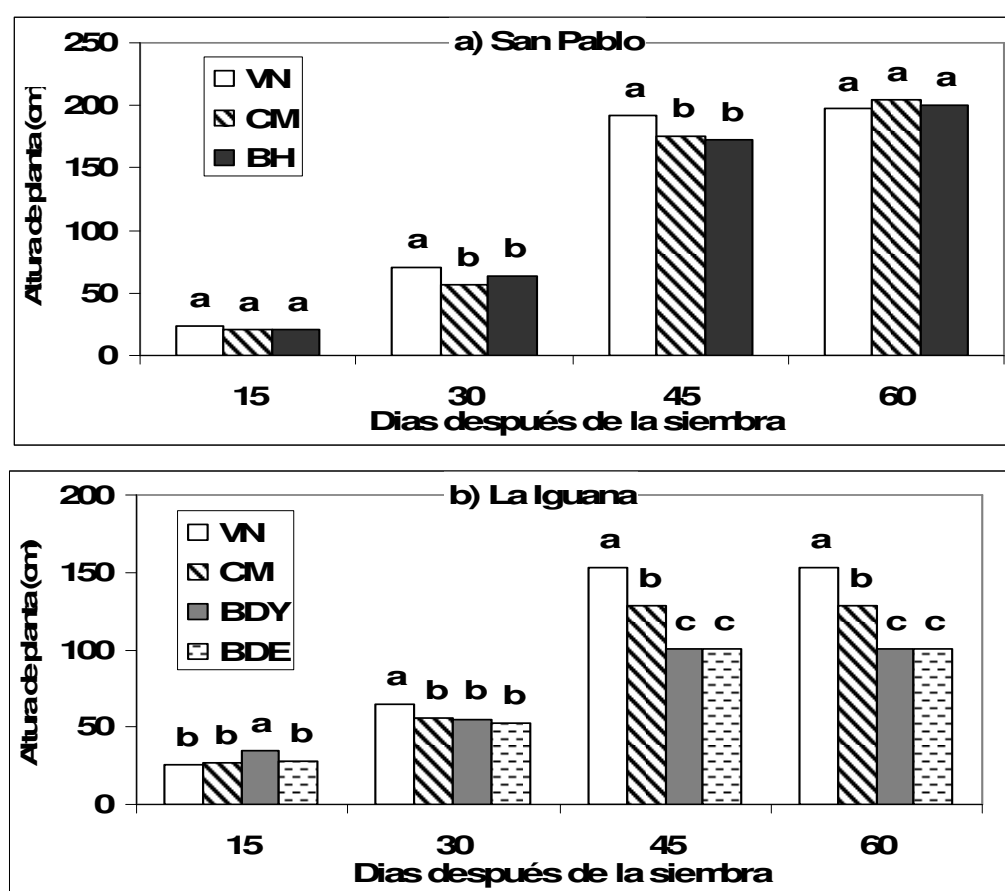


Figura 4. Efecto de los tipos de cobertura sobre la altura de las plantas de maíz en los suelos a) San Pablo y b) La Iguana

Cuadro 5. Contenido de nutrientes en el tejido del maíz en época de floración en los dos suelos evaluados.

Parámetro	La Iguana				San Pablo		
	VN	CM	BDY	BDE	VN	CM	BH
N (g.kg⁻¹)	21,3 a ¹	19,9 a	16,8 a	17,3 a	21,4 a	18,9 a	20,6 a
P (g.kg⁻¹)	4,6 a	2,8 c	3,8 b	4,2 a	3,0 a	2,5 a	2,6 a
K (g.kg⁻¹)	10,4 ab	8,8 b	10,8 ab	12,4 a	11,1 a	11,2 a	11,0 a
Ca (g.kg⁻¹)	11,1 a	5,5 b	9,6 a	4,4 b	6,3 a	6,9 a	5,5 a
Mg (g.kg⁻¹)	1,2 a	0,8 b	1,4 a	1,2 a	2,1 a	2,7 a	2,6 a
Na (g.kg⁻¹)	2,1 a	1,8 a	2,0 a	1,7 a	0,5 a	0,3 a	0,8 a
Fe (mg.kg⁻¹)	21,0 a	29,1 a	24,4 a	24,8 a	27,9 a	23,6 a	21,9 a
Cu (mg.kg⁻¹)	19,4 a	21,4 a	23,5 a	17,0 a	20,5 a	19,7 a	22,3 a
Zn (mg.kg⁻¹)	10,6 a	15,4 a	9,9 a	12,1 a	12,5 a	13,2 a	8,2 a
Mn (mg.kg⁻¹)	29,2 ab	30,2 a	29,6 ab	22,6 b	26,2 a	24,6 a	24,1 a

Cuadro 6. Rendimiento del maíz en los diferentes tipos de coberturas en los dos suelos evaluados.

Coberturas	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	
	San Pablo	La Iguana
<i>Centrosema macrocarpum</i>	3047 (718) a ¹⁾	3563 (1259) a
Vegetación Natural	2213 (957) a	4070 (491) a
<i>Brachiaria humidicola</i>	2333 (677) a	
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	-	2280 (1410) a
<i>Brachiaria decumbens</i>	-	2493 (712) a

CONCLUSIONES

- Las variables agronómicas de las coberturas (porcentajes de cobertura y biomasa acumulada) variaron en los diferentes períodos evaluados y entre tratamiento para ambos suelos, presentando un mejor comportamiento el tratamiento Vegetación natural en San Pablo y *Brachiaria dictyoneura* en el suelo la Iguana. El tratamiento *Centrosema macrocarpum* solo presentó un pico de alta cobertura, a los 45 días después de la siembra (dds) en la Iguana y a los 90 dds en el suelo san Pablo.
- La mayoría de las propiedades químicas de los suelos variaron significativamente entre tipos de coberturas a las tres profundidades evaluadas. La conductividad eléctrica y los contenidos de K y Na no presentaron diferencias significativas entre tratamiento en el suelo San Pablo pero si en el suelo La Iguana.
- A pesar de los bajos valores de pH en el suelo San Pablo no se presentaron problemas de Aluminio intercambiable, pero en el suelo La Iguana si se presentaron altos valores de Aluminio intercambiable, especialmente en la cobertura *Brachiaria decumbens*.
- El tratamiento *Brachiaria humidicola* fue el que presentó las condiciones químicas más favorables en el suelo San Pablo, posiblemente debido al mayor aporte de biomasa de residuos orgánicos y a una menor exigencia nutricional.
- Para el suelo La Iguana, los tipos de cobertura presentaron un comportamiento diferencial dependiendo de la propiedad química considerada, la leguminosa (CM) favoreció los contenidos de los macronutrientes N y P, mientras que las gramíneas, especialmente BDY favorecieron los incrementos de carbono orgánico.
Las diferencias entre suelos se pueden atribuir a las clases texturales, gruesas en el suelo La Iguana y finas en el suelo San Pablo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J.; J. Ingram.** 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International. 171 p.
- Baruch, Z y M. Fisher.** 1988. Factores climáticos y de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el establecimiento de una pastura. RIEPT, Establecimiento y renovación de pasturas. Memorias. p 103-143.
- Berroterán, J.L.** 1995. Establecimiento y producción de *Andropogon gayanus* Kunth y maíz (*Zea mays* L.) como cultivos asociados en los llanos de Venezuela. Pasturas Tropicales 17: 2-8.
- Bravo, C.** 1995. Experiencia de sistemas de labranza en los Llanos Centrales. I Curso sobre Sistemas de Labranza y Conservación de Suelos. II Taller Nacional de Sistemas de Labranza y conservación de Suelos. San Juan de los Morros – Venezuela, 18 p.

- Bravo, C.; R.M. Hernández; Z. Lozano; B. Moreno y L. Piñango.** 2000. Primer Informe técnico del proyecto S1-97001360 "Avance del proyecto: Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz-ganado en suelos del Estado Guárico", 120 p.
- Bravo, C.; R.M. Hernández; Z. Lozano; B. Moreno y L. Piñango.** 2001. Segundo Informe técnico del proyecto S1-97001360 "Avance del proyecto Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz-ganado en suelos del Estado Guárico", 190 p.
- Bravo, C.; Z. Lozano; R.M. Hernández; L. Piñango, y B. Moreno.** 2004. Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16:163-172.
- Casanova, E.** 1994. Introducción a la ciencia del suelo. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV. 2da edición, Caracas. 379 p.
- Chacín, F.** 2000. Diseño y Análisis de Experimentos, CDCH-UCV, Caracas -Venezuela 389 p.
- Contreras, F.; C. Rivero y J. Paolini.** 1996. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la fosfatasa ácida en un alfisol. *Revista de la Facultad de Agronomía de la UCV (Maracay)* 22, 139-149.
- Dou, Z.; R. Fox, y J. Toth.** 1995. Seasonal soil nitrate dynamic in corn as affected by tillage on nitrogen source. *Soil Science Society of American Journal* 59, 858-864.
- Eckert, D. 1991. Chemical attributes of soil subjected to no-till cropping with rye cover crop. *Soil Science Society of America Journal* 55:405-409.
- Ekeberg, E., H. Riley.** 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on Morainic loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Research* 42, 277-293.
- Evangelou, V. y R. Blevins.** 1988. Effects of long-term tillage systems and nitrogen addition on potassium Quantity-Intensity relationships. *Soil Science Society of America Journal* 52, 1047-1054.
- Franzluebbers, A. y F. Hons.** 1996. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrient under conventional and no tillage. *Soil and Tillage Research* 39, 229-239.
- Heanes, D.** 1984. Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometer procedure. *Comm. Soil Sci. Plant Ana.* 15: 1191-1213.
- Jones, J.B. Jr.** 1972. Plant tissue analysis. In: *Micronutrient in Agriculture*. Morvedt, P., Giordano, M. and Lindsay, W.L. (eds). pp. 319-346. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Lal, R.; A. Mahboubi y N. Fausey.** 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of Central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal* 58, 517-552.
- Lozano, Z.** 1999. Evaluación de propiedades físicas y químicas de dos suelos de los Llanos Occidentales con sistemas de labranza convencional y reducida. Trabajo de Ascenso a la categoría de Asistente, Facultad de Agronomía, UCV (Maracay). 63 p.
- Lozano, Z.; C. Bravo; F. Ovalles; R.M. Hernández; B. Moreno; L. Piñango y J.G. Villanueva.** 2004. Selección del diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro* 16: 61-72.
- Mata, D.; P. Herrera y B. Birbe.** 1996, Sistemas de producción animal con bajos insumos para las sabanas de *Trachypogon* sp. *Ecotrópicos* 9: 83-100.
- Matheus, R.** 1986. Los suelos de la Estación Experimental La Iguana. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, UCV (Maracay). 199 p.
- Medina, A.** 1989. Bases para la interpretación de análisis de suelos y follaje. Departamento Técnico COLJAP. Bogotá, Colombia. 49 p.
- Osuna B.; D.M. Ventura y A. Casanova.** 1996. Alternativas de suplementación para mejorar la utilización de los forrajes conservados. II. Efecto de diferentes concentraciones de dos fuentes de energía en bloques nutricionales sobre el consumo y ganancia de peso de ovinos en crecimiento. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 13:191 – 200.
- Padrino, M.** 2005. Dinámica de la descomposición de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del estado Guárico. Tesis de Maestría en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. 93 p.
- Pérez-Greiner, G.** 1995. Estudios de sistemas agrícolas alternativos para el desarrollo de una agricultura productiva y duradera en el estado Guarico. II Taller Nacional de Sistemas de Labranza y conservación de Suelos, San Juan de los Morros – Venezuela, p. 61.
- Pla, I.** 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*, Alcance 32. 91 p.

- Ramírez, R.** 1980. Nutrición del maíz en Venezuela. IV. Valores standard y adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio para interpretación de análisis foliar en maíz. *Agron. Trop. (Ven)* 30 (1): 125-133. **Butler, T.A., L.J. Sikora, P.M. Steinhilber, y L.W. Douglass.** 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *J. Environ. Qual.* 30:2141–2148.
- Riera, J. e I. Guerrero.** 1984. Caracterización agroecológica de la región oriental de Guárico. Sub. – Estación Experimental Valle de la Pascua. FONAIAP. Mimeografiado. 159 p.
- Rincón, A.; G.A. Ligarreto y D. Sanjuanelo.** 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiarias* sp) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte colombiano. *Agronomía Colombiana* 25: 264-272.
- Selles, F.; B.G. McConkey y C.A. Cambell.** 1999. Distribution and form of P Under cultivator and zero-tillage for continuous and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil and Tillage Research* 51, 47-59.
- Sloneker, L. y W. Moldenhaver.** 1977. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *Journal Soil Water Conservation* 32: p 211–236.
- Unger, P.** 1991. Organic matter, nutrient and pH distribution in no- and conventional-tillage in semiarid soils. *Agronomy Journal* 86, 186 - 189.
- Tukey, J.** 1977. *Exploratory Data Analysis.* Addison-Wesley, Reading Mass. 688 p.
- Utomo, M.; W. Frye y R. Blevins.** 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agronomy Journal* 82, 979-983.
- Watanabe, F y S. Olsen.** 1965. Test of acid ascorbic method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:677 - 678.