

S  
592  
.5  
716

IMPACTO DE DIFERENTES USOS Y MANEJOS DEL  
SUELO EN LOS CAMBIOS QUIMICOS, FISICOS Y  
BIOLOGICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA  
BIEN DRENADA

(INFORME FINAL)

PHANOR HOYOS GARCES  
MARIA DEL ROSARIO SILVA  
EDGAR FERNANDO ALMANZA



PROYECTO INTERINSTITUCIONAL CIAT-CORPOICA-UNILLANOS

(1996 - 1999)



PROYECTO No 952500188 COFINANCIADO POR PRONATTA

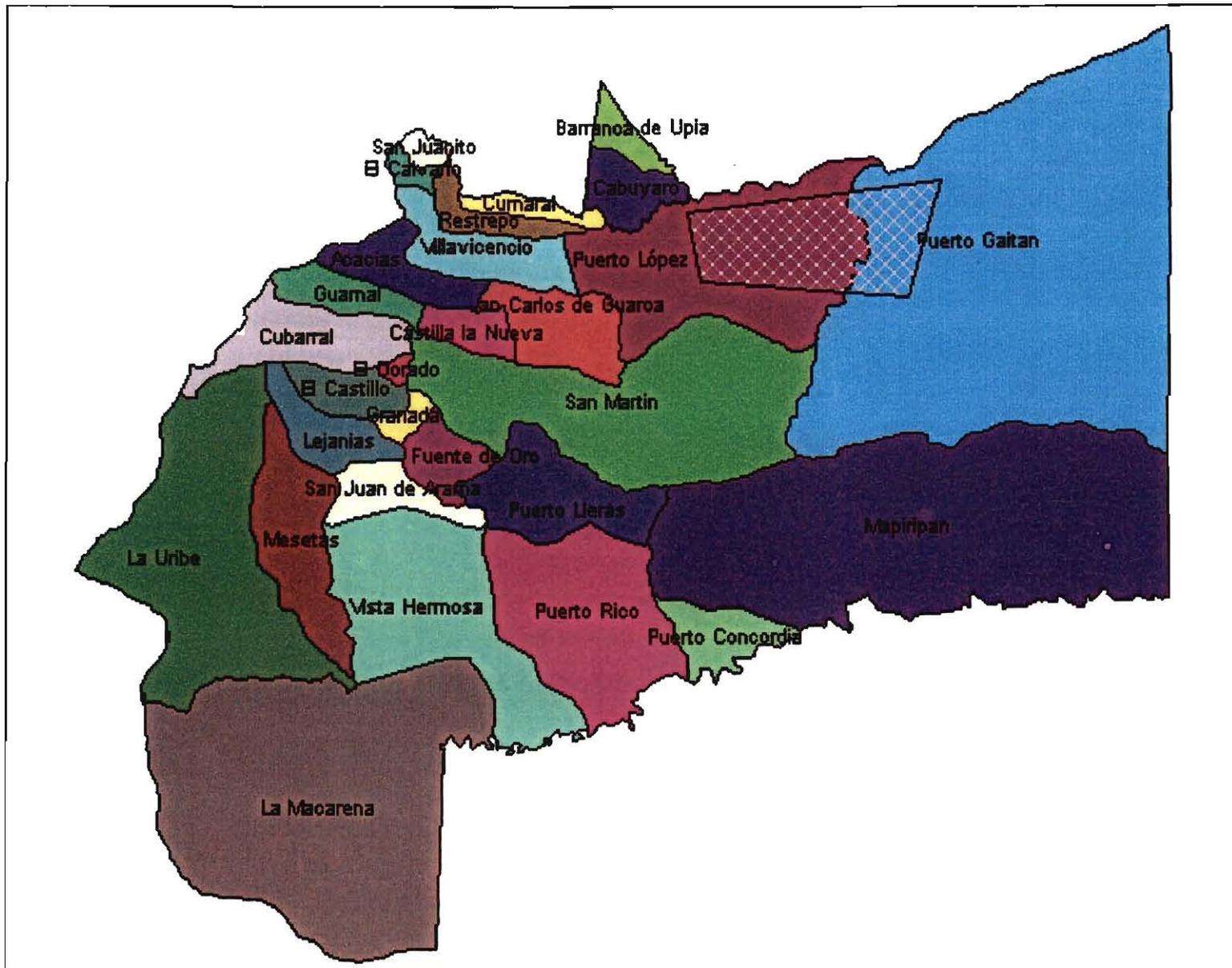


# CONTENIDO

	Pag.
<b>I. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>1</b>
<b>II. CARACTERISTICAS DE CLIMA Y SUELO</b> .....	<b>1</b>
<b>III. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>2</b>
<b>IV. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>2</b>
4.1 <i>SITIOS DE MUESTREO</i> .....	2
4.2 <i>PROFUNDIDAD DE MUESTREO</i> .....	2
4.3 <i>METODOLOGIA DE MUESTREO Y TAMAÑO DE MUESTRA</i> .....	3
4.4 <i>EVALUACION DE PRODUCTIVIDAD</i> .....	3
4.5 <i>MEDICIONES ADICIONALES DURANTE EL PROYECTO</i> .....	3
4.6 <i>INDICADORES EVALUADOS</i> .....	4
4.7 <i>MANEJO Y ANALISIS DE LA INFORMACION</i> .....	4
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	<b>5</b>
5.1 <i>DISTRIBUCION DE DIAS LLUVIOSOS, SECOS Y PRECIPITACION</i> .....	5
5.2 <i>CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS POR VEGETACION Y USO</i> .....	7
5.3 <i>ENSAYO SATELITE (Profundidad de labranza x dosis de cal)</i> .....	10
5.3.1 Efecto del tipo de labranza en la infiltración y resistencia a la penetración .....	14
5.4 <i>CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS POR VEGETACION Y USO</i> .....	16
5.4.1 Relaciones entre la infiltración de agua en el suelo con algunas propiedades físicas. ....	16
5.4.2 Cambios de humedad estacional por textura y profundidad en suelos de sabana alta sin disturbar. ....	17
5.4.3 Cambios en materia orgánica, densidad aparente y tamaño de arenas por textura y profundidad en suelos de sabana alta sin disturbar. ....	17
5.4.4 Prueba de humedecimiento y secamiento del suelo en dos sabanas de la Altillanura plana. ....	20
5.4.5 Relación entre los macroagregados del suelo con el porcentaje de materia orgánica y arena en sabanas altas. ....	22
5.4.6 Efecto de la labranza en los macroagregados y materia orgánica del suelo. ....	22
5.4.7 Resistencia a la penetración en suelos de sabana por paisaje. ....	22

5.4.8 Resistencia a la penetración en suelos de la Altillanura plana según su uso y textura. ....	27
5.5 <i>CAMBIOS MICROBIOLÓGICOS DEL SUELO EN FUNCIÓN DEL PAISAJE, PROFUNDIDAD Y USO DEL SUELO.</i> ....	27
5.6 <i>APORTE FORRAJERO Y FRECUENCIA DE PRESENCIA DE LAS ESPECIES DE SABANA EN DIFERENTES PAISAJES.</i> ....	32
5.7 <i>PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA AGROPASTORIL Y PASTORIL TRADICIONAL EN SUELOS CON DIFERENTE TEXTURA</i> ....	36
<b>VI. NIVELES CRÍTICOS DE ALGUNAS VARIABLES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS PARA LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA PLANA. ....</b>	<b>38</b>
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	<b>41</b>
<b>VIII. PROPUESTAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.</b> .....	<b>45</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>46</b>
<b>X. COMENTARIOS FINALES</b> .....	<b>48</b>

## Ubicación del área de muestreo en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán



## I. LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIO

El presente estudio se realizó en los Municipios de Pto López y Pto Gaitán, Departamento del Meta, entre los 3° 55' y los 4° 20' de Latitud Norte y entre los 72° 1' y los 72° 55' de longitud Oeste. El área abarca los paisajes de Altillanura plana, ondulada y disectada.

## II. CARACTERISTICAS DE CLIMA Y SUELO

La precipitación media anual en el área de influencia de Pto López es de 2649 mm con una desviación de 340 mm y en el área de influencia de Pto Gaitán es de 2158 mm con una desviación de 282 mm. La altitud varía entre los 100 y 200 m.s.n.m. La temperatura media anual de 26°C con una humedad relativa del 80%. Durante el período lluvioso (Abril a Noviembre) la evapotranspiración potencial es de 112 mm/mes (con una desviación de 3.4 mm) y una radiación solar de 4.47 Kw-h/m<sup>2</sup> (desviación 0.21).

Hoyos et al. (1992) realizaron la caracterización química de los suelos de la Altillanura plana de 0 a 10 cm de profundidad para diferentes categorías texturales (Cuadro 1).

Cuadro 1. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA PLANA EN FUNCION DE LA TEXTURA (0 a 10 cm profundidad)

VARIABLE	TEXTURA				
	Arcillosa	F. Arcillosa	Franca	F. Arc. Arenosa	F. arenosa
PH	3.97	4.08	4.09	4.26	4.34
M.O. (%)	3.56	2.37	2.04	1.91	1.25
P (ppm )	3.65	2.19	2.38	2.76	3.40
Al (meq/100g)	3.26	1.94	1.77	1.26	0.91
Ca (meq/100 g)	0.19	0.22	0.15	0.18	0.19
Mg (meq/100 g)	0.067	0.062	0.041	0.037	0.036
K (meq/100 g)	0.067	0.054	0.042	0.038	0.036
Sat. de Al (%)	92.0	87.2	89.9	85.2	79.2

Como se puede observar los suelos son ácidos con bajos contenidos de materia orgánica, calcio, magnesio, potasio y fósforo y con altos niveles de saturación de aluminio que limitan el crecimiento vegetal. Los suelos de textura liviana muestran en general mayores limitaciones nutricionales que los suelos pesados, pero presentan la ventaja de tener un menor porcentaje de saturación de aluminio y una mayor disponibilidad de fósforo. Los suelos de la Altillanura son suelos muy antiguos, en sus áreas plano-convexas se encuentran Oxisoles (Haplustox, Haplortox, Acrorthox) en las áreas concavas que han acumulado materiales de las partes más altas se encuentran Inceptisoles (Andaquepts, Plinthaquepts, Tropaquepts) y en algunas áreas Ultisoles (Umbraquepts).

### **III. OBJETIVO GENERAL**

Determinar relaciones causales entre variables químicas, físicas y biológicas de los suelos de la Altillanura que permitan conocer el grado de impacto de diferentes usos del suelo en relación a los suelos no disturbados.

### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1 SITIOS DE MUESTREO**

Un total de 16 fincas fueron seleccionadas distribuidas en tres paisajes: Altillanura plana, ondulada y disectada. En cada finca se seleccionaron los sitios de muestreo en función de uso del suelo con su respectivo control (suelo sin disturbar). Algunas fincas fueron seleccionadas para estudiar con más detalle los suelos sin disturbar en función del paisaje y pendiente. En total se seleccionaron 70 sitios que incluyeron sabanas de los diferentes paisajes y en diferentes pendiente dentro de un paisaje específico, así como diferentes usos del suelo como pasturas establecidas ó renovadas en forma tradicional (uso de rocas fosfóricas ó calfos como única fuente de fertilizante en dosis muy bajas y alta intensidad de uso de rastras), pasturas establecidas ó renovadas con un cultivo (arroz, maíz), rotación de cultivos, monocultivos anuales y cultivos permanentes (Palma africana, caucho, pino, mango, marañón, cítricos) .

En cada sitio se realizaron los respectivos muestreos entre los meses de Septiembre a Noviembre en un radio de 10 metros del punto seleccionado. Durante la estación seca se realizaron mediciones para determinar el punto de marchitez permanente (PMP) bajo condiciones de campo y pruebas de aceptación de lluvias en suelos de sabana.

Es importante aclarar que todos los sitios seleccionados no presentaban ningún impedimento físico para labores de labranza relacionados con profundidad efectiva, pedregosidad, alta saturación de humedad ó relieve de poco acceso a maquinaria.

#### **4.2 PROFUNDIDAD DE MUESTREO**

Para las variables químicas se tomaron tres estratos de profundidad (de 0 a 5, de 5 a 20 y de 20 a 40 cm). Para textura, densidad, distribución de arenas y microbiología del suelo se tomaron dos estratos de profundidad (de 0 a 5 y de 5 a 20 cm).

La resistencia tangencial vertical (RTV) y la distribución de agregados del suelo se midieron de 0 a 3 cm de profundidad. La infiltración y conductividad hidráulica se evaluaron de 0 a 10 cm profundidad. La resistencia a la penetración se midió de 0 a 60 cm de profundidad.

#### 4.3 METODOLOGIA DE MUESTREO Y TAMAÑO DE MUESTRA

Para las variables químicas, de textura y microbiológicas se tomaron 12 muestras con barrenos en cada sitio ó punto de muestreo en las respectivas profundidades y se enviaron muestras compuestas por profundidad para los respectivos análisis de laboratorio. Para la determinación de la densidad aparente y real se tomaron 4 anillos (5cmx5cm) por profundidad de muestreo.

Para las mediciones de infiltración se utilizaron tres parejas de anillos infiltrómetros localizados en forma de triángulo equilátero en cada punto de muestreo, tomando mediciones en los siguientes tiempos: 1,2,3,4,5,10,15,20,30,45,60,90 y 120 minutos.

Las infiltraciones se tomaron en todos los casos cuando habían transcurrido como mínimo 2 días secos.

Para evaluar la resistencia a la penetración (RP) y la resistencia tangencial vertical (RTV) se tomaron seis lecturas de cada variable bajo condiciones de capacidad de campo. Para lograr simular la condición de capacidad de campo en cada sitio se enterraron 3 anillos de 30 cm de diámetro saturados con agua y tapados con plástico y hierba, a los 2 días se regresaba al sitio para realizar dos mediciones de resistencia en cada anillo. Para medir la resistencia a la penetración se utilizó un penetrógrafo de cono con capacidad máxima de lectura de 25 kg/cm<sup>2</sup>. Para medir la resistencia vertical se utilizó un TURVANE metálico de 1.9 cm de diámetro y 3 cm de largo con capacidad máxima de lectura de 140 Kpa.

Para el conteo microbiológico se utilizaron tres diluciones, haciendo tres lecturas por dilución siguiendo la metodología establecida por el Programa de Biología y Fertilidad para Suelos Tropicales (TSBF).

Para determinar la composición florística y disponibilidad de forraje en suelos de sabana, se evaluaron 20 marcos en dos transectos que se cruzaban en el centro del punto señalado utilizando la metodología de BOTANAL.

#### 4.4 EVALUACION DE PRODUCTIVIDAD

Dentro de los sitios de muestreo en las fincas se incluyeron algunos que formaban parte de experimentos conducidos por el CIAT, con el propósito de integrar y complementar la información relativa a la productividad de los cultivos y comportamiento animal estacional en diferentes texturas de suelo.

#### 4.5 MEDICIONES ADICIONALES DURANTE EL PROYECTO

Durante el avance del proyecto se realizaron las siguientes mediciones ó trabajos adicionales:

- Implementación de un ensayo satélite para probar los efectos de incorporar diferentes dosis de cal a diferentes profundidades utilizando como materiales de respuesta Maíz Sikuaní v-110 y *Panicum maximum*.
- Distribución y frecuencia semanal de las lluvias en el área de estudio
- Estudio de Micorrizas Vesículo Arbusculares (Tesis Unillanos)
- Determinación de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente a nivel de campo.
- Prueba de humedecimiento y secamiento del suelo en la época seca.

#### 4.6 INDICADORES EVALUADOS

##### *Químicos:*

Materia orgánica, aluminio, fósforo, calcio, magnesio, potasio.

##### *Físicos :*

Arena, Limo, Arcilla, tasa de infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente, densidad de partículas, porosidad total, distribución de tamaño de agregados, distribución de tamaño de arenas, resistencia a la penetración, resistencia tangencial vertical, capacidad de campo, y punto de marchitez permanente.

##### *Biológicos:*

Población de bacterias, población hongos, población de actinomicetos y número de esporas de micorrizas vesículo arbusculares.

##### *Vegetación:*

Composición florística en sabanas, aporte forrajero de las especies y frecuencia de aparición de las especies, disponibilidad de forraje y altura promedio de la vegetación.

##### *Producción:*

Rendimiento de cultivos y producción de carne por hectárea en suelos con diferentes texturas.

##### *Clima:*

Distribución de días lluviosos y secos continuos durante el período de lluvias, distribución de la precipitación.

#### 4.7 MANEJO Y ANALISIS DE LA INFORMACION

La base de datos fue almacenada y organizada en archivos externos del paquete SAS (System Analyses Statistical). Para el análisis de varianza se tomaron las fincas como repeticiones para cada uno de los paisajes, utilizando el procedimiento PROC GLM y la prueba de rango múltiple de Duncan para la separación de medias. Para algunas variables se realizaron análisis descriptivos de frecuencias, medias y desviación estándar. Se realizaron análisis de correlación lineal de Pearson para todas las variables y aquellas que mostraron altas correlaciones y significancias con distribución de puntos bien definida se les aplicó modelos de ajuste a través del programa "curve expert".

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 DISTRIBUCIÓN DE DIAS LLUVIOSOS, SECOS Y PRECIPITACIÓN

Un análisis de distribución semanal de días lluvioso y secos fue realizado en una finca representativa del área de estudio como complemento a la información del proyecto. El análisis incluye 10 años de registros consecutivos tomados por el CIAT de 1989 a 1998.

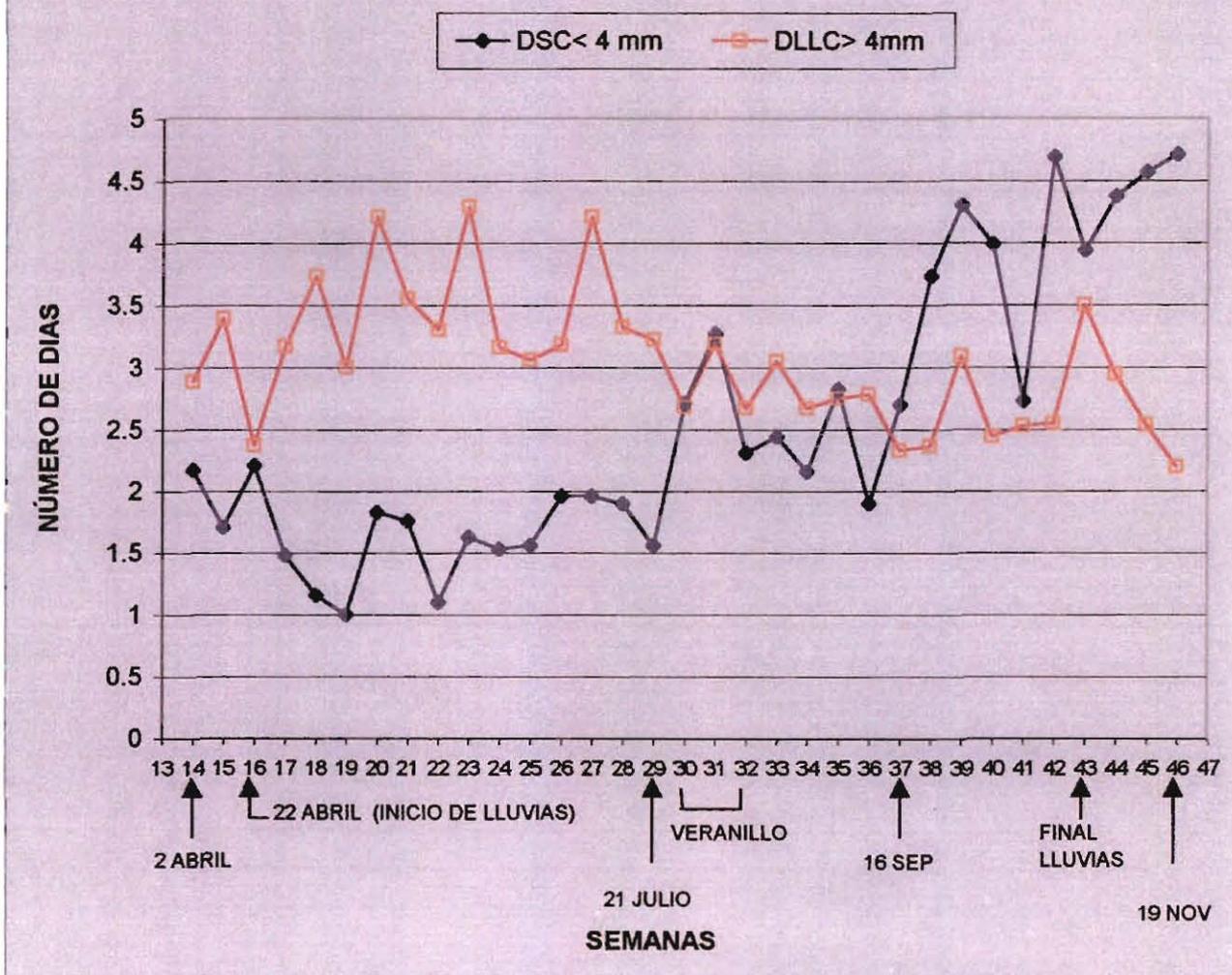
El análisis preliminar de la información indicó que el período real de lluvias está comprendido entre la semana 14 y la 46 (del 2 de Abril al 19 de Noviembre). También se determinó por muestreos de campo que precipitaciones inferiores a 4 mm no producen efecto de humedecimiento en el suelo, esto concuerda con los datos de evapotranspiración potencial reportados por el HIMAT (112.5 mm/mes) por más de 30 años para este mismo período, equivalente a 3.75 mm/día. Con este criterio se consideraron días lluviosos aquellos con precipitaciones superiores a 4 mm.

En la Figura 1 se muestra la distribución semanal de días lluviosos consecutivos y días secos consecutivos entre el 2 de Abril y el 19 de Noviembre. Las semanas 16 y 43 marcan los puntos críticos de inicio y final de lluvias respectivamente, esto coincide con lo encontrado por Amézquita et al. (1995) con datos de 20 años en Carimagua en donde se estimó en este mismo período una probabilidad del 100% de que se presente por lo menos una lluvia semanal. Entre las semanas 17 a la 29 la frecuencia de días lluviosos consecutivos se mantiene por encima de 3 y los días secos consecutivos por debajo de 2, después viene un período de transición entre la semana 30 a 36 en donde los días secos y lluviosos consecutivos están alrededor de 2.5 días, dentro de este lapso ocurre el veranillo de Agosto que se presenta con mayor frecuencia en la semana 31. A partir de la semana 37 (16 Septiembre) la frecuencia de días secos consecutivos es mayor que la de días lluviosos consecutivos llegando a su punto crítico en la semana 43, cuando los días secos consecutivos son superiores a 4 días por semana.

La distribución de los días lluviosos y secos continuos permite establecer que los límites del manejo de la labranza temprana debe iniciarse dentro de los primeros 20 días de Noviembre y completarse en el mes de Abril, para no afectar las características físicas y biológicas del suelo.

Ha sido documentado a través de varios estudios los múltiples efectos de la preparación temprana en el control de malezas, aumento en la porosidad e infiltración, mineralización de nutrientes, sin embargo poca referencia se hace al efecto biológico de la labranza temprana. Estudios realizados por el CIAT indican que con labranzas tempranas (Noviembre-Diciembre) a una profundidad igual o superior a 20 cm de profundidad puede controlar hasta un 80% de las colonias de hormigas (CIAT, 1989), estudios más recientes indican además que labranzas tempranas realizada en Noviembre y Abril no afectan la población de lombrices ya que más del 90% de su población se inactiva en horizontes profundos en estos meses, en contraste cuando se realiza preparación tardía en Mayo el 100% de la población se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad donde se puede producir un alto daño físico de los individuos (Decaëns et al., 1995), especialmente cuando se utilizan rastras.

**Fig 1. DISTRIBUCIÓN SEMANAL DE DIAS CONTÍNUOS SECOS Y LLUVIOSOS DE 1989 A 1998. HDA STA CRUZ. PTO LÓPEZ**



Al analizar la información por quinquenios se encontró que la distribución de días secos y lluviosos continuos es similar, sin embargo, durante el último quinquenio (de 1994 a 1998) se presentaron precipitaciones más altas entre las semanas 16 a 32 con veranillos de Agosto menos marcados que el quinquenio de 1989 a 1993. En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los quinquenios, en donde se puede observar que en el último quinquenio se tuvo una precipitación promedio por día lluvioso de 24.2 mm comparada con 15.8 mm del primer quinquenio. El aumento de precipitación en el último quinquenio se explica por una mayor ocurrencia de días con precipitaciones superiores a 20 y a 45 mm semanales y una disminución sustancial de días en el rango de 0.5 a 4 mm semanales. De continuar la tendencia del último quinquenio se hace necesario tomar una mayor precaución en evitar la preparación tardía del suelo. Esta tendencia afecta también la posibilidad de hacer una labranza adecuada en el veranillo de Agosto cuando se utilice rotación de cultivos.

Cuadro 2 . DISTRIBUCION DEL PORCENTAJE DE DIAS POR RANGOS DE PRECIPITACIÓN SEMANAL EN DOS QUINQUENIOS EN EL PERIODO DEL 2 DE ABRIL AL 19 DE NOVIEMBRE. HACIENDA SANTA CRUZ, PUERTO LOPEZ.

PRECIPCIÓN/SEMANA (mm)	1989 A 1993	1994 A 1998
	----- % DE DIAS (Base=231 días)	
Sin precipitación	44.7	55.4
De 0.5 a 4	16.1	6.0
> 4 a 20	24.7	20.3
> 20 a 45	10.9	12.3
> 45	3.6	6.0
Precipitación total en el período (mm)	1967 b	2535 a
Precipitación/día lluvioso (mm)	15.8 b	24.2 a

a, b Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas al 5%

## 5.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS POR VEGETACIÓN Y USO

En el Cuadro 3, se presenta los cambios químicos de los suelos de sabana y con diferentes usos en dos niveles de profundidad. En el caso de los suelos de sabana, se observa como las sabanas bajas en función de la pendiente, muestran tendencia a mayores contenidos de materia orgánica, bases y fósforo particularmente en los primeros 5 cm de profundidad. En la profundidad de 5 a 20 cm como consecuencia de la reducción de bases se incrementan los niveles de saturación de aluminio (SAI). Con los usos del suelo se observa como los nutrientes aplicados a través del tiempo se han concentrado en los primeros 5 cm de suelo, mientras en el estrato de 5 a 20 cm con el triple de volumen de suelo se localizan menos de la mitad de las bases con menor capacidad de neutralización de aluminio.

Los valores anteriores podrían indicar problemas de incorporación de fertilizantes y de enmiendas, baja reactividad de las cales, baja movilidad de nutrientes como el caso del fósforo ó problemas de movimiento de agua en el suelo.

En las Figuras 1 y 2 se presentan los contenidos de calcio y magnesio bajo diferentes usos del suelo en tres niveles de profundidad. Los niveles calcio y magnesio en el suelo muestran relación con los requerimientos de los cultivos siendo mayores en cultivos permanentes como el caucho, pino y palma africana, un poco menor en rotación de cultivos y relativamente bajos en pasturas.

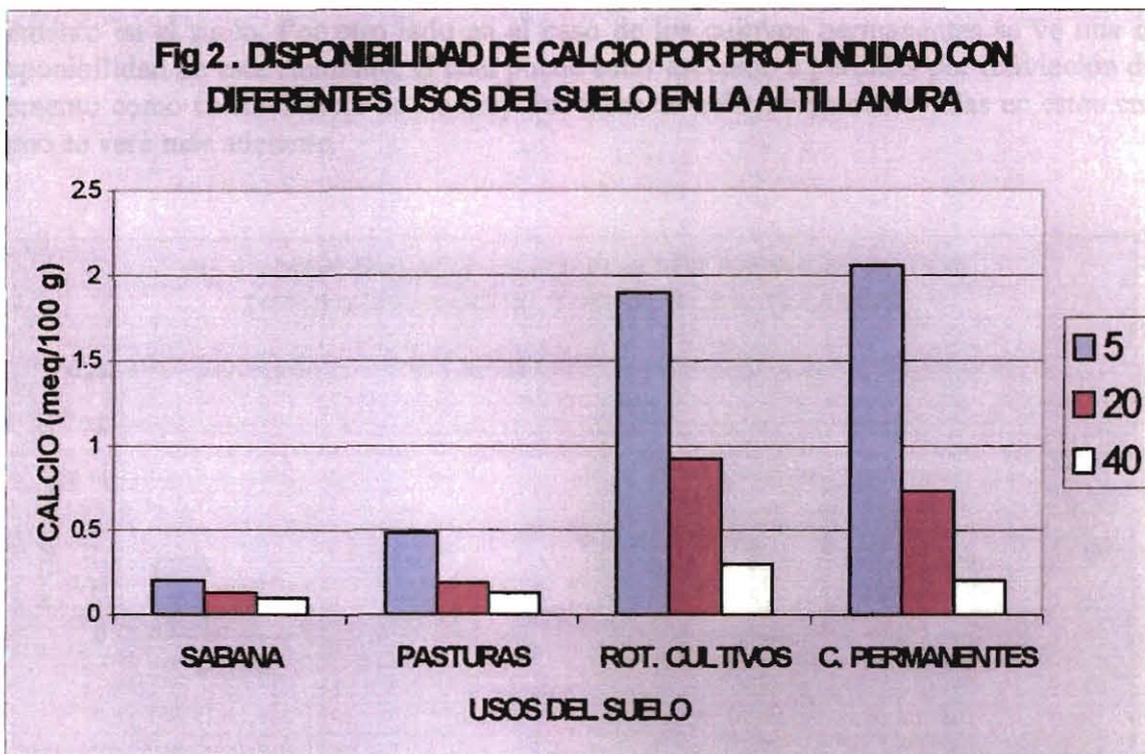
Cuadro 3. CAMBIOS QUIMICOS DE LOS SUELOS DE SABANA Y BAJO DIFERENTES USOS EN DOS PROFUNDIDADES.

USO	0 A 5 CM				5 A 20 CM			
	MO (%)	BASES meq	P ppm	SAI (%)	MO (%)	BASES meq	P ppm	SAI (%)
Sabana alta	3.3 a	0.38 b	2.8 b	80	2.4 a	0.25 b	2.1 b	85
Sabana media	3.7 a	0.39 b	3.4 b	82	2.7 a	0.21 b	1.6 b	88
Sabana baja	5.6 a	0.47 b	4.7 b	82	4.0 a	0.23 b	2.4 b	89
Past. Mejoradas	3.0 a	0.80 b	9.3 b	60	2.2 a	0.32 b	2.3 b	76
Monocultivo anual	3.0 a	0.99 b	14.1 ab	57	2.4 a	0.61 b	3.9 ab	67
Rotación cultivos	4.9 a	2.65 a	9.4 b	22	3.5 a	1.30 a	4.9 ab	50
Cult. Permanentes	3.9 a	3.17 a	26.2 a	37	2.7 a	1.20 a	13.1 a	59

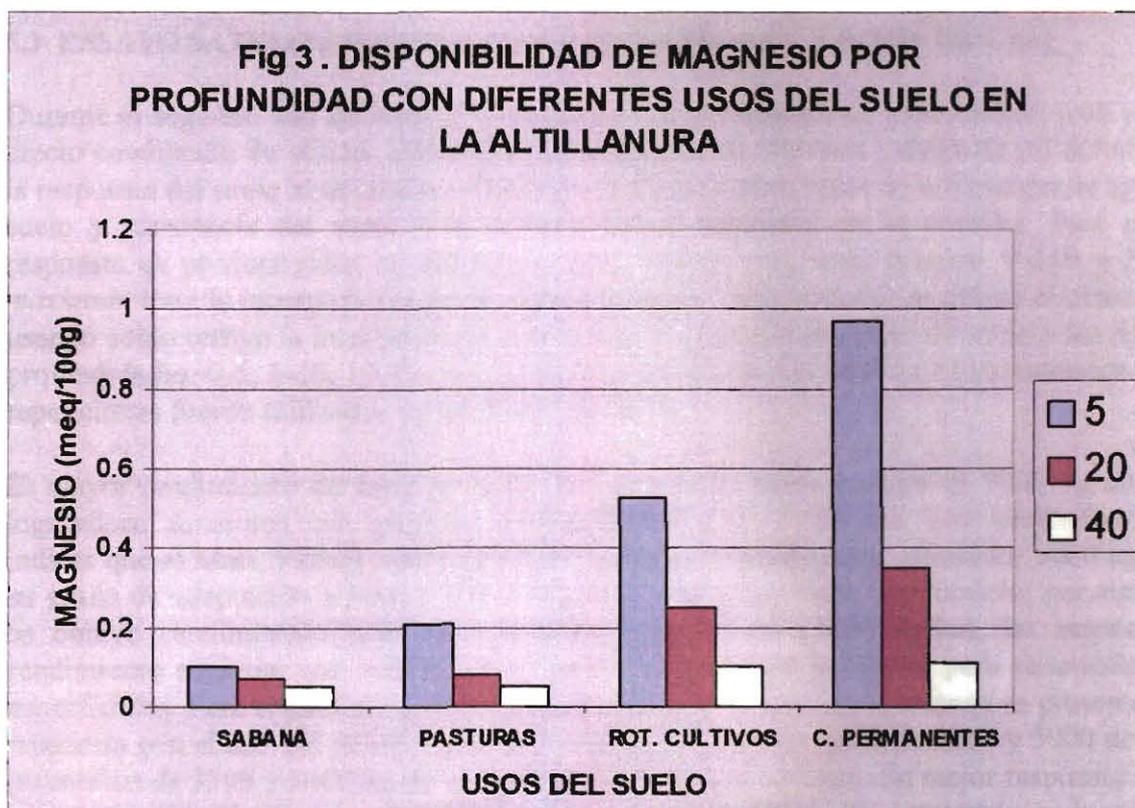
Resalta de nuevo lo poco uniforme de la distribución de bases a través del perfil del suelo, lo que conduce a limitaciones nutricionales después de los primeros 5 cm especialmente en el caso de praderas que constituyen el germoplasma base de mejoramiento del suelo a través de sus raíces. En ningún caso se alcanzó una suma de bases igual a 2 meq/100 g como promedio en los primeros 20 cm de suelo

También se observa una alta relación de Ca/Mg en la rotación de cultivos quizás porque se depende más de la cal dolomítica como fuente de estos elementos, mientras en pasturas especialmente las que se han sembrado con leguminosas o se han utilizado como semilleros y los cultivos de palma y caucho utilizan el sulpomag como fuente de magnesio además del aporte de potasio y azufre.

**Fig 2 . DISPONIBILIDAD DE CALCIO POR PROFUNDIDAD CON DIFERENTES USOS DEL SUELO EN LA ALTILLANURA**



**Fig 3 . DISPONIBILIDAD DE MAGNESIO POR PROFUNDIDAD CON DIFERENTES USOS DEL SUELO EN LA ALTILLANURA**



Cuadro 4. PRODUCCIONES DE PASTO GUINEA y MAÍZ (Sikuani v-110) CON DIFERENTES NIVELES DE CAL Y PROFUNDIDADES DE PREPARACIÓN DE SUELO.

LABRANZA		CAL DOLOMITA		GUINEA *	MAÍZ
TIPO	PROF (cm)	kg/ha		kg M.S./ha	kg/ha
1)	Cinzel	15	2000	3919 a	4698 abc
2)	Cinzel	30	3000	3439 b	4603 bc
3)	Cinzel	45	5000	3179 bc	5049 ab
4)	Cinzel	45	2000	2777 c	4721 abc
5)	Cinzel	30	2000	1633 d	4645 abc
6)	Rastra	15	5000	1596 d	4828 ab
7)	Cinzel	15	1000	1561 d	4217 c
8)	Rastra	15	1000	1525 d	4800 abc
9)	Rastra	15	3000	1325 d	5224 a
10)	Rastra	15	0	740 e	-----

a,b,c,d Letras distintas indican diferencias significativas al 5% (Duncan)

\* Acumulación de biomasa de Panicum en 60 días de crecimiento partiendo de un corte de uniformización a 15 cm de altura en todos los tratamientos.

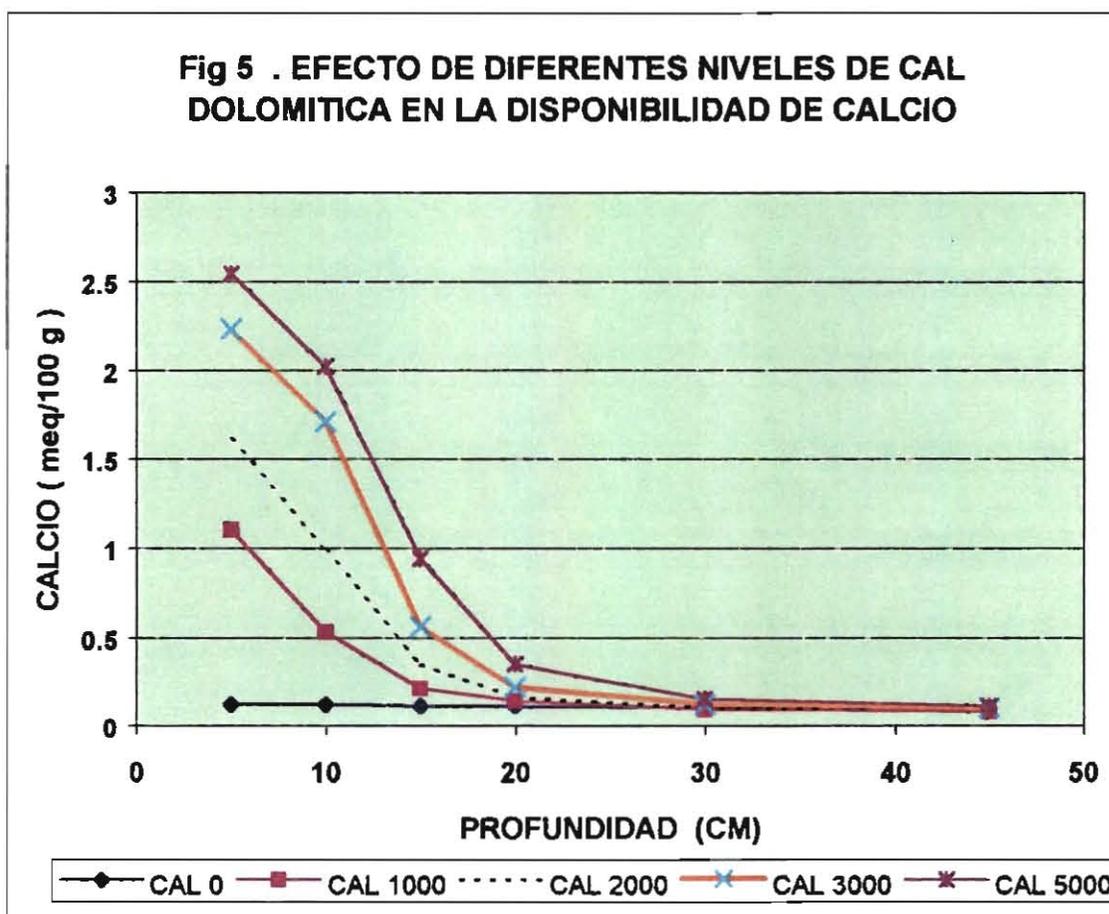
Las mayores respuestas con labranza superficial (0 a 15 cm) tanto en Maíz como en Panicum pueden estar afectadas por el grado de disturbación del suelo en función de la profundidad. Cuando se usa cinzel a mayor profundidad disminuye el grado de disturbación del suelo y se forman terrones grandes que pueden limitar la oportunidad de desarrollar mayor volumen de raíces pequeñas. La respuesta de la cal con el uso de rastras mostró en el suelo efectos importantes hasta los 10 cm de profundidad; mientras el cinzel tuvo efecto hasta los 15 y 20 cm; por esta razón; se hará referencia a los tratamientos con cinzel en las siguientes figuras.

En las Figuras 5 y 6, se presenta el efecto de aplicar diferentes dosis de cal dolomítica con el uso del cinzel rígido en la disponibilidad de calcio y magnesio. Las dosis de 1000 y 2000 kg/ha de cal se incorporaron a 15 cm de profundidad, mientras las dosis de 3000 y 5000 kg/ha se incorporaron a 30 y 45 cm de profundidad respectivamente. Como se puede observar la disponibilidad residual de calcio y magnesio post-cosecha de maíz muestra un contenido desuniforme de los cationes hasta los 20 cm en todas las dosis. Esta desuniformidad puede

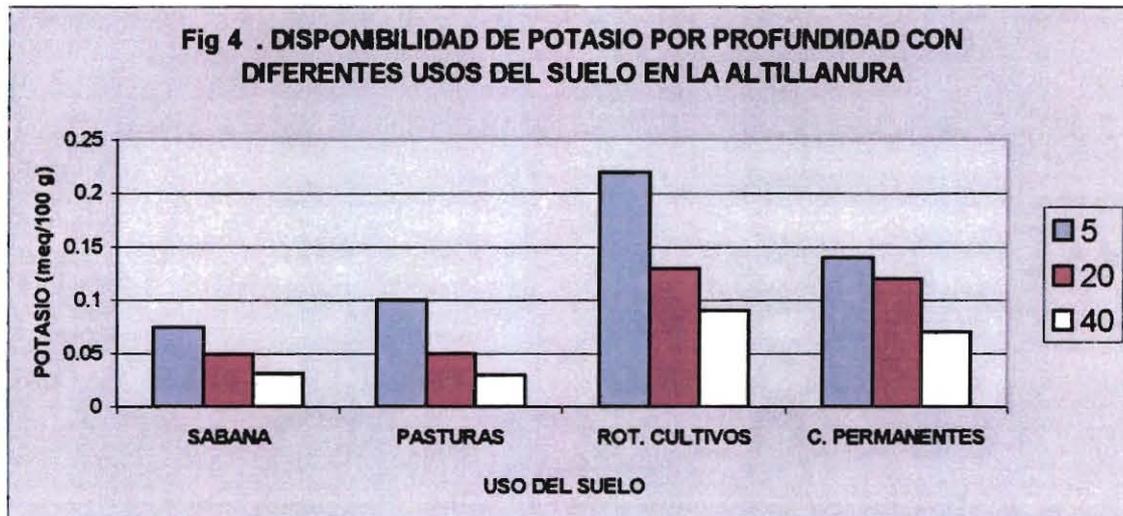
estar asociada con limitaciones técnicas para incorporación de la cal y lenta reactividad de la cal dolomítica como lo reporta la literatura. Es importante notar que en los primeros 10 cm las relación Ca/Mg está alrededor de 2, mientras a los 15 y 20 cm pasa a ser 1. En términos de eficiencia las dosis de 2000 y 3000 kg/ha muestran buen comportamiento.

En la Figura 7, se presenta la disponibilidad de potasio con la aplicación de 200 kg/ha de cloruro de potasio bajo las diferentes dosis de cal. Es interesante observar la dinámica de este elemento a través del perfil en todas las dosis, gracias a su mayor movilidad y a la solubilidad de la fuente utilizada. Lo anterior indica que se debe tener precaución de esta fuente en cultivos permanentes de raíz superficial como la palma africana para evitar pérdidas por lixiviación. En la Figura 8, se muestra el efecto de las dosis de cal en el porcentaje de saturación de aluminio (SAL). Los niveles de SAL disminuyen proporcionalmente y en forma irregular con las dosis de cal. Las curvas de SAL sugieren que la dosis de cal más eficiente es la de 3000 kg/ha con un comportamiento muy similar a la de 5000 kg/ha. Las dosis de 1000 y 2000 kg/ha se igualan a 20 cm de profundidad con más de un 80 % de SAL.

Los resultados anteriores sugieren la necesidad de mejorar los métodos de incorporar la cal, la necesidad de investigar otras fuentes de mayor solubilidad y reactividad que permitan lograr niveles de saturación de aluminio más homogéneos a través del perfil.



En la Figura 4 se observa como el potasio a diferencia del calcio y el magnesio presenta diferencias menos marcadas entre profundidades debido a la mayor movilidad de este elemento en el suelo. Por otro lado en el caso de los cultivos permanentes se ve una menor disponibilidad de este elemento, el cual puede estar asociado a pérdidas por lixiviación de este elemento como consecuencia de las mayores tasas de infiltración observadas en estos cultivos como se verá más adelante.

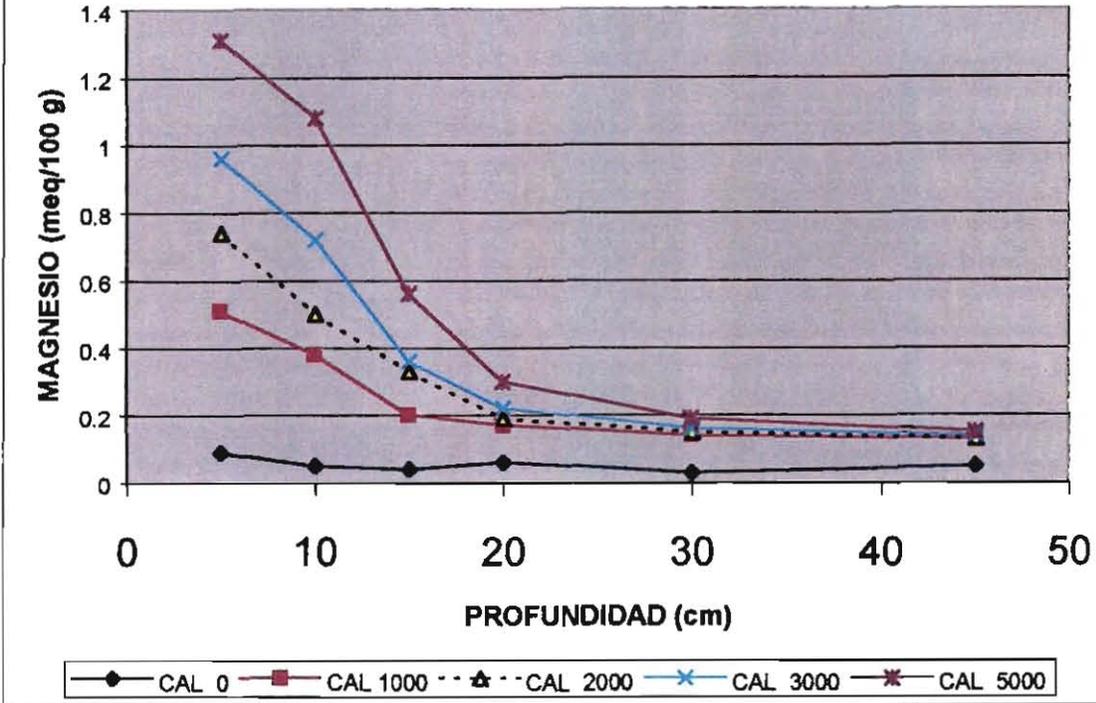


### 5.3 ENSAYO SATELITE (PROFUNDIDAD DE LABRANZA Y DOSIS DE CAL)

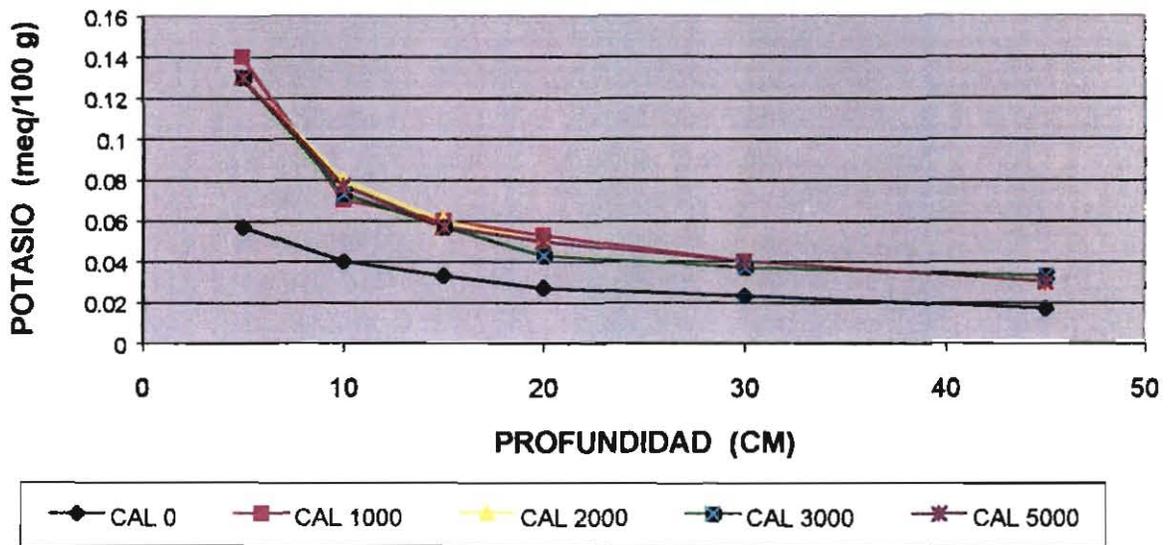
Durante el segundo año del avance del proyecto se implementó un experimento para probar el efecto combinado de utilizar diferentes profundidades de labranza y dosis de cal dolomítica en la respuesta del suelo al encalado a diferentes profundidades, tasas de infiltración de agua en el suelo y resistencia del suelo a la penetración al momento de la cosecha. Para medir la respuesta en productividad se utilizaron como indicadores, maíz Sikvani V-110 y *Panicum maximum*. Para la incorporación de la cal a diferentes profundidades se utilizó el cincel rígido, usando como testigo la incorporación con rastra. Se tomaron muestras de suelo a las siguientes profundidades: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 y 30-40 cm. Un total de 10 tratamientos con tres repeticiones fueron utilizados en un diseño de BCA.

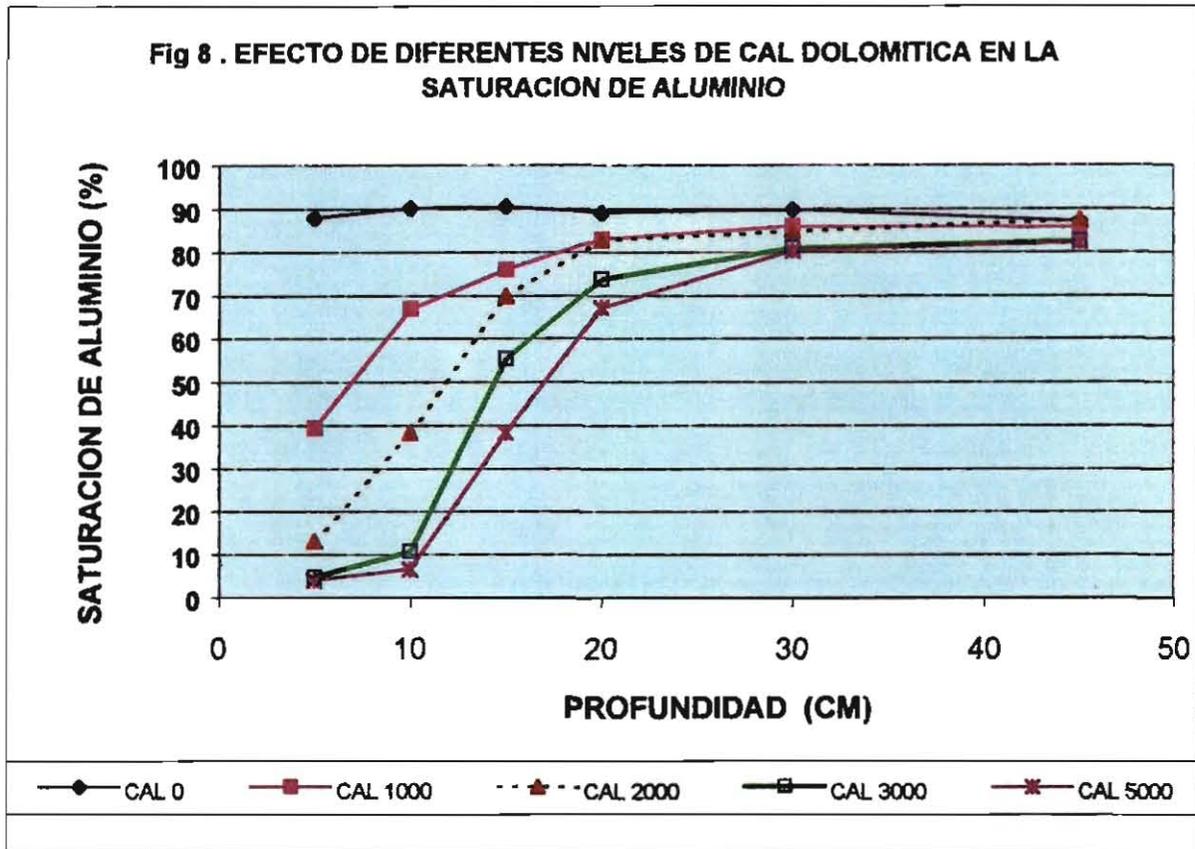
El mayor rendimiento de maíz se logró con el uso de rastra y dosis de 3000 kg de cal, no lográndose aumentos con mayores profundidades ó dosis de cal. Los resultados parecen indicar que el Maíz Sikvani tiene su límite genético de rendimiento alrededor 5000 kg/ha, por su grado de adaptación a suelos ácidos hasta 60 % de saturación de aluminio; por esta razón, se obtuvo rendimientos altos con la dosis baja de cal (4800 kg/ha), las respuestas en rendimiento sugieren que este material parece tener mayor habilidad para desarrollar raíces superficiales. Para el caso de la producción forrajera del *Panicum maximum* se presentó mayor respuesta con el uso del cincel rígido que con la rastra en las dosis de 3000 y 5000 de cal con promedios de 3309 y 1460 kg de materia seca/ha respectivamente. Su mejor respuesta se logró con el cincel a 15 cm de profundidad y dosis de 2000 de cal; disminuyendo su biomasa con profundidades mayores con la misma dosis de cal.

**Fig 6. EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE CAL DOLOMITICA EN LA DISPONIBILIDAD DE MAGNESIO**



**Fig 7. DISPONIBILIDAD DE POTASIO CON DOSIS UNICA DE 200 Kg/Ha DE KCl BAJO DIFERENTES NIVELES DE CAL DOLOMITICA**



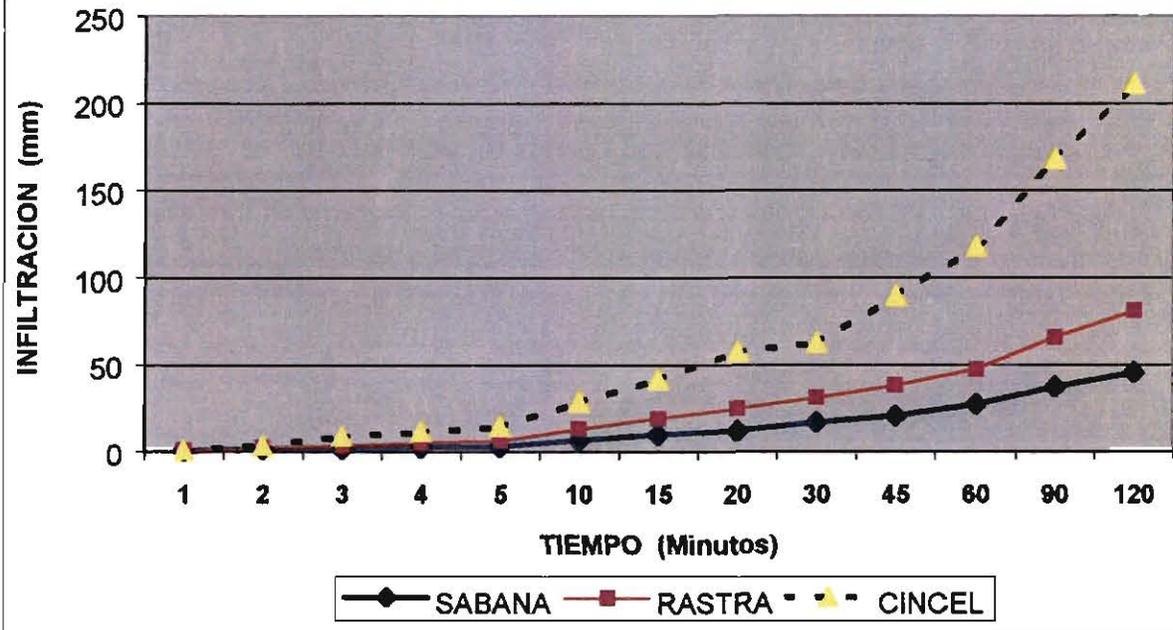


### 5.3.1 EFECTO DEL TIPO DE LABRANZA EN LA INFILTRACION Y RESISTENCIA A LA PENETRACION (Ensayo satélite)

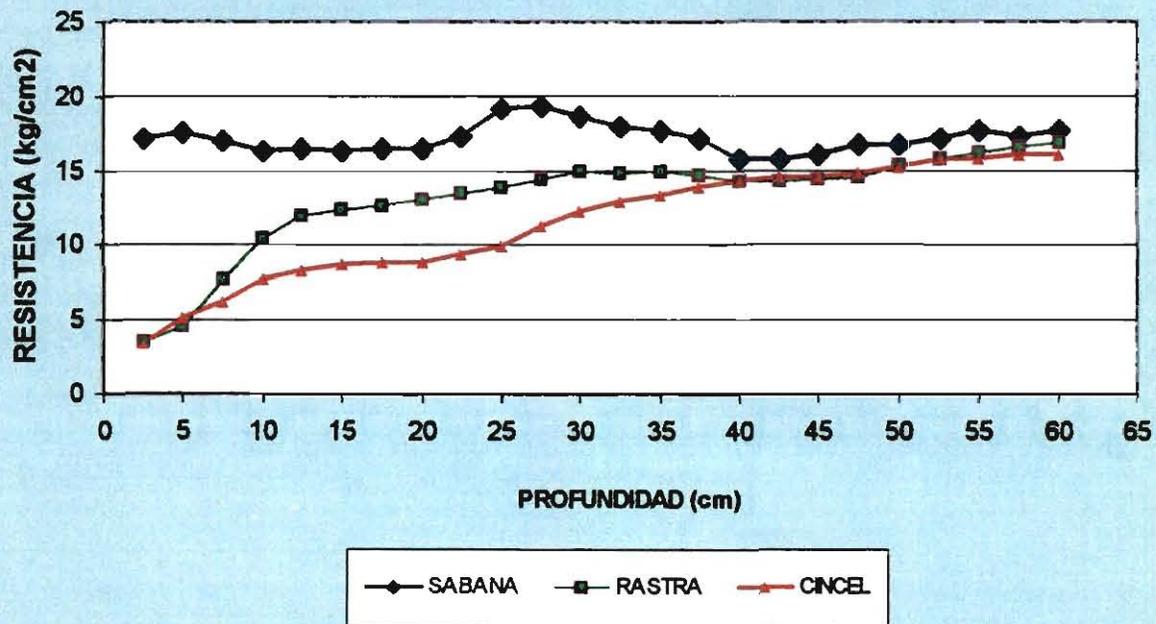
Debido a que las dosis de cal no afectaron las tasas de infiltración de agua en el suelo, ni la resistencia a la penetración; se promediaron las dosis de 1000, 3000 y 5000 kg de cal para comparar el comportamiento global del cincel y la rastra tomando como testigo suelo de sabana sin disturbar.

En la Figura 9, se presenta el efecto de la labranza en las curvas de infiltración de agua acumulada en 2 horas. El uso del cincel mostró infiltraciones acumuladas de 212 mm, las cuales se consideran aceptables; mientras con las rastras y la sabana se presentaron bajas infiltraciones (80 y 46 mm respectivamente). Estos datos muestran relación con los valores de resistencia a la penetración medidos a capacidad de campo de la Figura 10. La sabana muestra una resistencia alta, superior a 15 kg/cm<sup>2</sup> a través de todo el perfil lo cual explica su baja infiltración. Tomando como punto crítico de resistencia el valor de 10 kg/cm<sup>2</sup>, la rastra logró valores bajos de resistencia hasta 7.5 cm y el cincel hasta 22.5 cm, lo que explica las diferencias encontradas con las infiltraciones.

**Fig 9 . EFECTO DE LA LABRANZA EN LA INFILTRACIÓN ACUMULADA (Ensayo satélite)**



**Fig 10. CAMBIO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE LABRANZA (Post-cosecha de maíz. Ensayo Satélite)**



## 5.4 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS POR VEGETACION Y USO

### 5.4.1 RELACIONES ENTRE LA INFILTRACION DE AGUA EN EL SUELO CON ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS

En el Cuadro 5 se presentan los cambios de infiltración de agua en el suelo por sistema de tierra y uso del suelo y algunas variables relacionadas con este fenómeno, medidas durante el último tercio del período lluvioso. Las infiltraciones de agua en el suelo (INFI) fueron moderadamente rápidas en la Altillanura ondulada (109 mm/hora) mientras la Altillanura plana y disectada fueron moderadas (60 y 51 mm/hora respectivamente). La mayor infiltración de Altillanura ondulada puede estar asociada con un mayor porcentaje de arena y una menor resistencia tangencial vertical (RTV) con respecto a los otros sistemas. La menor porosidad total (PT) de la altillanura ondulada es consecuencia de la mayor densidad aparente (DA) de los suelos de textura liviana, explicada por los menores contenidos de materia orgánica en estas texturas, como se verá más adelante.

**Cuadro 5 . PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA POR SISTEMA DE TIERRA Y USO DEL SUELO**

	INFILTRACIÓN	RTV	ARENA	PT	DA
	(mm/hora)	(Kpa)	(%)	(%)	(g/cc)
<b>SISTEMA DE TIERRA</b>					
Altillanura ondulada	109 a	22 b	69 a	40 b	1.57 a
Altillanura plana	60 b	44 a	37 c	47 a	1.35 b
Altillanura disectada	51 b	41 a	53 b	47 a	1.36 b
<b>USOS DEL SUELO</b>					
Cultivos permanentes	153 a	26 b	44 c	45 bc	1.41 a
Sabanas bajas	86 b	37 a	62 a	49 a	1.28 b
Sabanas altas	58 bc	42 a	53 b	43 c	1.45 a
Pasturas tradicionales	50 bc	34 ab	51 b	46 bc	1.38 a
Pasturas + cultivos	48 bc	40 a	51 b	44 bc	1.44 a
Monocultivos anuales	6 c	38 a	41 c	46 bc	1.39 a

a,b,c Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas al 5%.

RTV = Resistencia tangencial vertical medida a 3 cm de profundidad.

PT = Porosidad total

DA = Densidad aparente

En relación a los usos del suelo, se encontró que los cultivos permanentes en general mostraron mayor velocidad de infiltración (153 mm/hora) debido a la gran protección aérea de estos cultivos contra el impacto de las lluvias y a la presencia de raíces gruesas; en contraste el uso de monocultivos anuales en forma continua mostró valores muy bajos de infiltración (6.5

mm/hora) por el uso intensivo de rastras. De la misma manera las pasturas viejas renovadas tradicionalmente con rastras y las establecidas con cultivos pero manejadas con alta intensidad de carga animal muestran infiltraciones más bajas que las sabanas.

La infiltración acumulada en suelos de sabana sin disturbar mostró una relación exponencial y positiva con el porcentaje de arena ( $r=0.97$ ) como se observa en la Figura 11. En general suelos con menos de 20% de arena mostraron infiltraciones lentas, los de 50% moderadas, los de 65% moderadamente rápidas y los mayores a 70% rápidas. Por otro lado la dureza superficial del suelo a 3 cm de profundidad medido como resistencia tangencial vertical (RTV) afectó en forma exponencial negativa ( $r=-0.86$ ) la infiltración acumulada; valores superiores a 45 Kpa reducen notoriamente la infiltración y valores por debajo de 20 Kpa la favorecen (Figura 12).

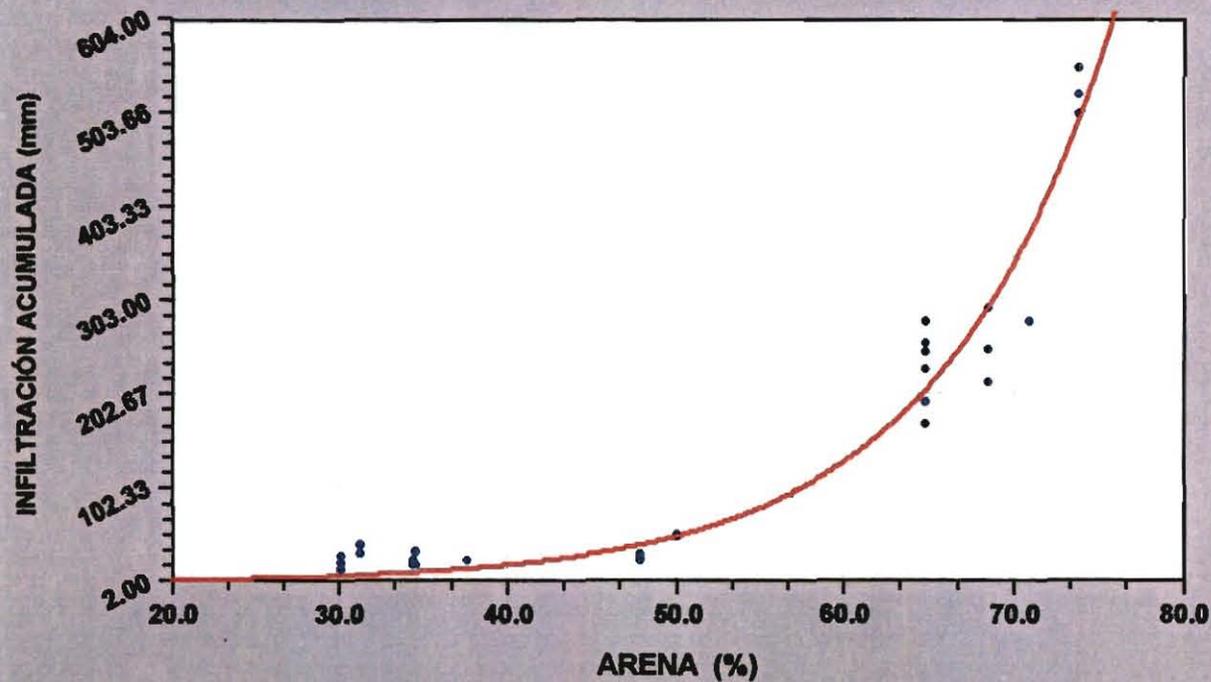
#### ***5.4.2 CAMBIOS DE HUMEDAD ESTACIONAL POR TEXTURA Y PROFUNDIDAD EN SUELOS DE SABANAS ALTAS SIN DISTURBAR.***

A través de los muestreos estacionales (mitad de la estación lluviosa y final de la estación seca) se evaluó la humedad volumétrica de suelos sin disturbar por textura y profundidad y se determinó la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PPM) bajo condiciones reales de campo y no de laboratorio. En la Figura 13, se resumen los resultados para dos niveles de profundidad (de 0 a 20 y de 20 a 40 cm) y para tres texturas de suelo. Los suelos mostraron diferencias significativas ( $P<0.001$ ) en la humedad volumétrica tanto por textura como por profundidad para CC y PMP. La CC y el PMP disminuyeron a medida que los suelos pasaron de textura arcillosa a textura Franco arenosas en los dos niveles de profundidad, sin embargo la diferencia entre CC y PMP que representa el agua disponible para las plantas es proporcionalmente mayor en texturas pesadas que las livianas. Para la profundidad de 0 a 20 cm el porcentaje de agua disponible fue de 16, 14 y 9 para las texturas Arcillosa, F. Arcillosa y F. Arenosa; lo cual está asociado a los valores encontrados de conductividad hidráulica de 1.0, 1.4 y 9.0 cm/hora respectivamente. A la profundidad de 20 a 40 cm los valores de agua disponible disminuyeron a 9, 9 y 7% respectivamente; lo que indica que la mayor dinámica de agua ocurre en los primeros 20 cm de profundidad. Estos resultados son relevantes para establecer estrategias de manejo del suelo tendientes a elevar la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo a la mayor profundidad posible.

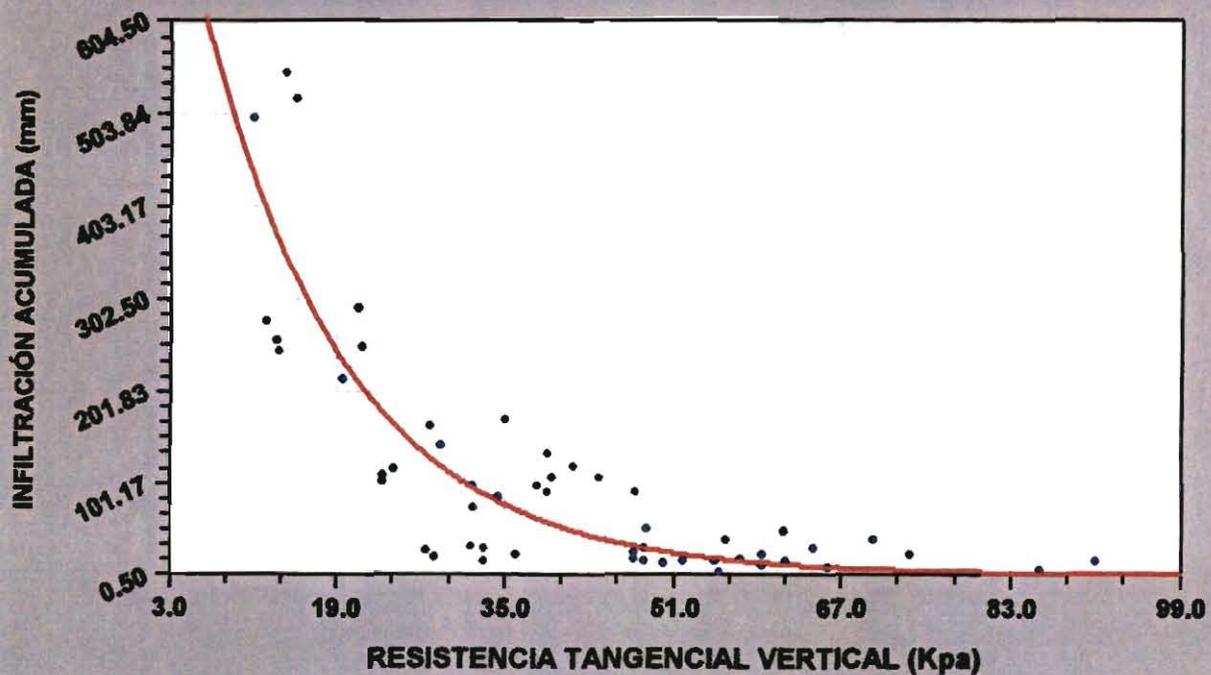
#### ***5.4.3 CAMBIOS EN MATERIA ORGÁNICA, DENSIDAD APARENTE Y TAMAÑO DE ARENAS POR TEXTURA Y PROFUNDIDAD EN SUELOS DE SABANAS ALTAS SIN DISTURBAR.***

Los cambios en densidad aparente (DA) y materia orgánica (MO) en función de textura y profundidad de muestreo se presentan en la Figura 14. La DA mostró diferencia entre las texturas ( $P<0.01$ ) pero no por profundidad. Las textura F. Arenosa mostró valores más altos de DA (1.65 g/cc) comparada con la textura F. Arcillosa (1.5 cc) y arcillosa (1.2 g/cc); en contraste los suelos arcillosos mostraron valores más altos de materia orgánica en todas las profundidades que las texturas F. Arcillosa y F. Arenosa; lo que determina mayor capacidad de almacenaje de agua de las texturas pesadas mencionadas anteriormente.

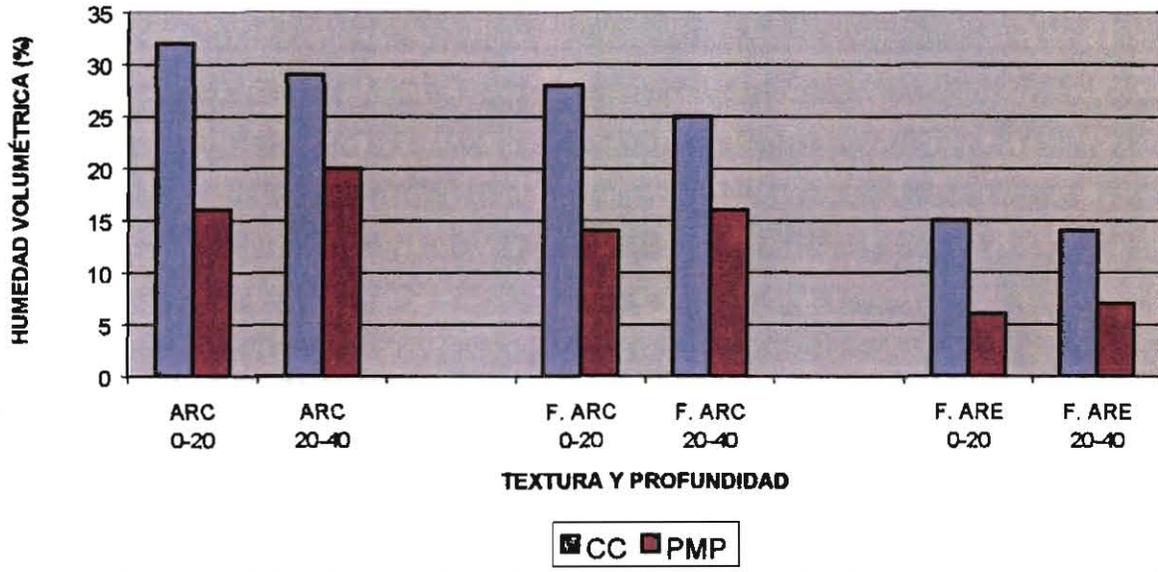
**Fig 11 . RELACION ENTRE LA INFILTRACIÓN ACUMULADA Y EL PORCENTAJE DE ARENA EN SUELOS DE SABANA**



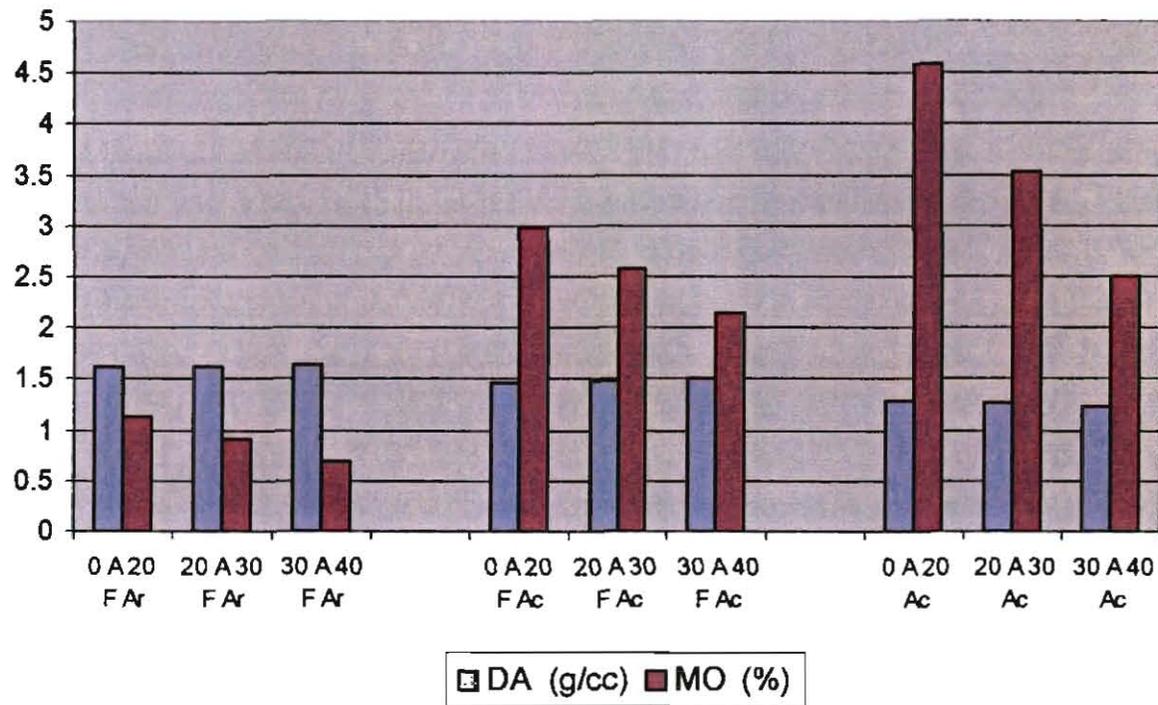
**Fig 12 . RELACION ENTRE LA INFILTRACIÓN ACUMULADA Y LA RESISTENCIA TANGENCIAL VERTICAL EN SUELOS DE SABANA (0 a 3 cm de prof)**



**Fig 13. CAPACIDAD DE CAMPO (CC) Y PUNTO DE MARCHITÉZ PERMANENTE (PMP) EN SUELOS DE SABANA CON DIFERENTE TEXTURA**

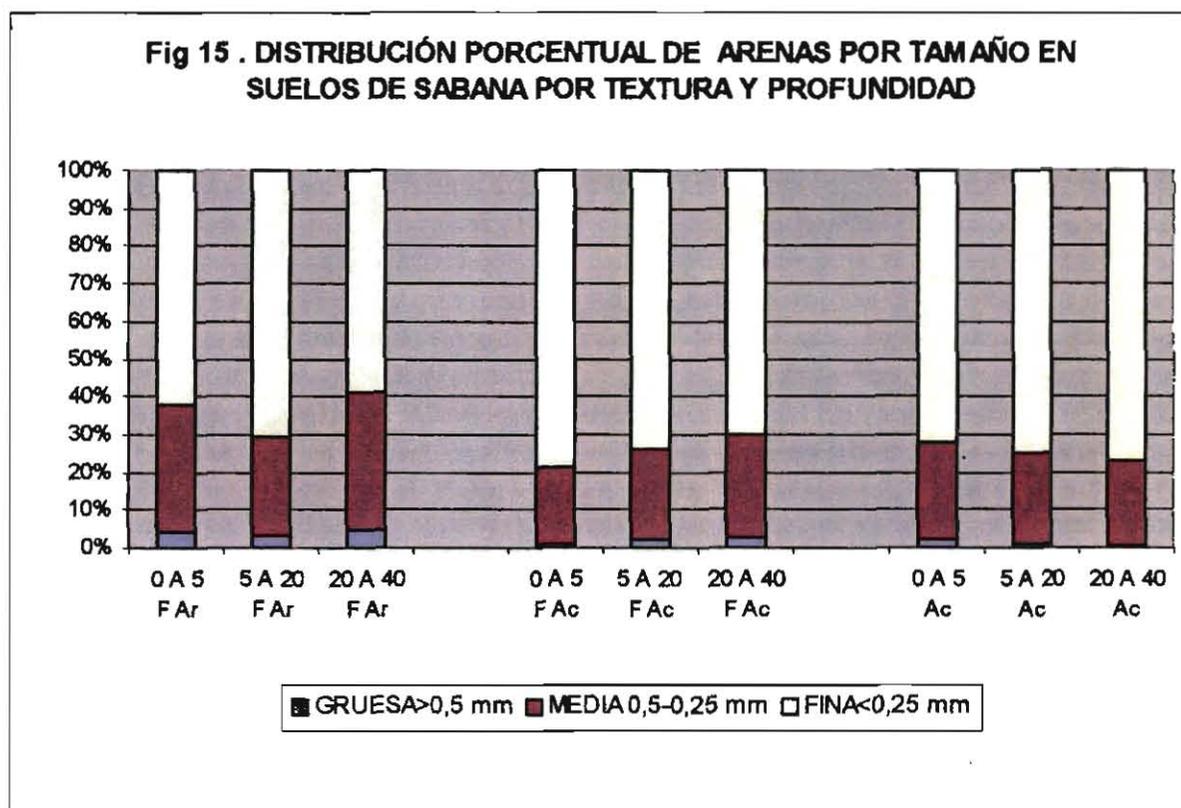


**Fig 14. DENSIDAD APARENTE (DA) Y MATERIA ORGÁNICA (MO) EN SUELOS DE SABANA POR TEXTURA Y PROFUNDIDAD**



Los valores de DA mostraron correlaciones lineales inversa con la materia orgánica ( $R=-0.97$ ), lo que explica en buena parte la alta DA de los suelos arenosos. Lo anterior pone en evidencia que los suelos arenosos por su baja MO (1%) y alta DA (1.65 g/cc) son los más susceptibles por el uso a la degradación estructural, compactación y erosión.

Al analizar la distribución porcentual de arenas por tamaño de partículas (Figura 15), se observa que en estos suelos de sabanas altas de la altillanura predominan las arenas finas en todas las texturas y profundidades en un rango de 60 a 80%; sin embargo es importante resaltar que las texturas F. Arenosas muestran una proporción mayor de arenas medias y gruesas que las texturas arcillosas, lo que asociado a un bajo contenido de MO puede ser una desventaja para estas texturas por la tendencia al reempaquetamiento de las partículas produciendo compactación y alta resistencia del suelo a la penetración como se verá más adelante.

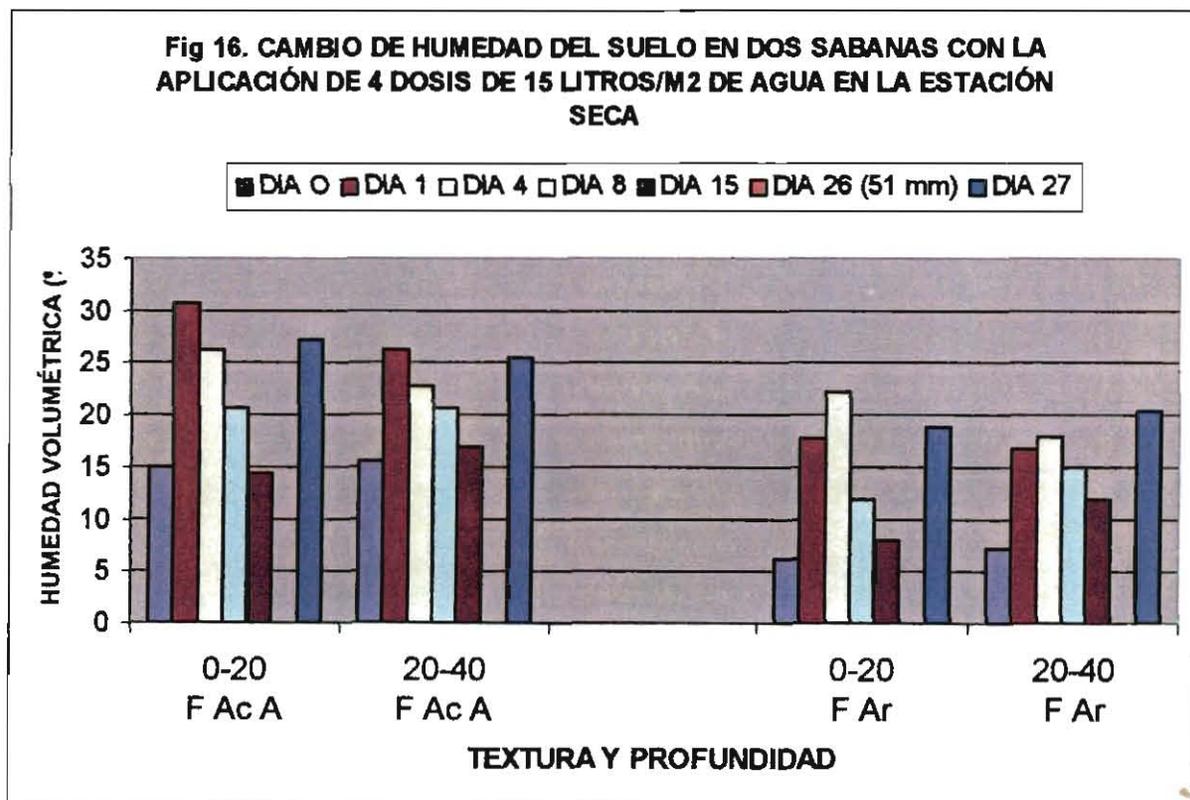


#### **5.4.4 PRUEBA DE HUMEDECIMIENTO Y SECAMIENTO DEL SUELO EN DOS SABANAS DE LA ALTILLANURA PLANA**

Una prueba exploratoria para determinar el efecto del humedecimiento y secamiento del suelo en el tiempo (15 días) se realizó durante la estación seca de 1998 en dos suelos de sabana con diferente textura a diferentes niveles de profundidad (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm). En cada textura se utilizaron tres marcos de 1 m<sup>2</sup> como repeticiones y tres marcos testigos para determinar la humedad inicial (día cero). En cada marco se tomaron tres muestras por profundidad para determinar la humedad gravimétrica y densidad aparente como estimadores de la humedad volumétrica. En cada marco experimental fueron aplicadas cuatro dosis de 15

litros/m<sup>2</sup> de agua (equivalente a cuatro lluvias de 15 mm) espaciadas cada 30 minutos; utilizando un minisimulador de lluvias (regadera) acondicionado a una intensidad de salida de 1 litro/minuto. La comparación de las medias de humedad volumétrica por día de evaluación en cada profundidad fueron altamente significativas ( $P < 0.0001$ ) siendo en todos los casos mayor en la sabana de textura F. arcillo-arenosa. En la Figura 16 se muestra únicamente las medias de humedad de 0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad para los días 1, 4, 8 y 15 post-aplicación del agua contados a partir del día cero. El día 26 cayó una lluvia natural de 51 mm (equivalente a 51 litros/m<sup>2</sup>) y se aprovechó esta oportunidad para evaluar la humedad del suelo al día siguiente (día 27) para ser comparada con la del día 1. Fue interesante observar que la sabana F.arenosa mostró rechazo del agua durante su aplicación produciéndose escorrentía; igualmente el movimiento de agua en el suelo fue más lento logrando la máxima humedad el día 4 mientras la textura F.Arc-Ar logró su máximo humedecimiento el día 1. El nivel de secamiento del suelo de 0 a 20 cm se logró a los 15 días en ambas texturas, pero de 20 a 40 cm hay una reserva de humedad que es lo que permite en ambos suelos con una lluvia de 51 mm (51 litros/m<sup>2</sup>) el día 26 alcanzar valores cercanos o superiores a los del día 1 con 90 litros/m<sup>2</sup>.

El rechazo del agua en la textura F Ar en la estación seca explica por niveles de humedad tres veces menor que la textura F. Ac-Ar (día cero) lo que genera una gran presión de vacío impidiendo la entrada del agua y su movimiento en el suelo. Una vez que el suelo arenoso genera una reserva de humedad en el subsuelo la presión de vacío disminuye y se logra alta infiltración pero baja capacidad de almacenamiento de agua.



#### **5.4.5 RELACION ENTRE LOS MACROAGREGADOS DEL SUELO CON EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA Y ARENA EN SABANAS ALTAS**

Los macroagregados del suelo (>1 mm de diámetro) en los primeros 5 cm de profundidad, estuvieron estrechamente asociados ( $r=0.96$ ) con los contenidos de materia orgánica (MO) en suelos de sabana sin disturbar. Como se ilustra en la Figura 17, suelos con bajos contenidos de MO muestran un bajo porcentaje de macroagregados (MAG) y son los más susceptibles a degradación y pérdida estructural. Cuando la MO supera el 3.5% los MAG empiezan a estabilizarse lográndose el máximo nivel con el 5% de MO, cifra que de por sí marca una meta de mínima de mejoramiento orgánico para estos suelos.

La relación entre los MAG y el porcentaje de arena se presenta en la Figura 18. Como se puede apreciar suelos con contenidos de arena superiores al 50% son potencialmente vulnerables a la degradación y pérdida de estructura.

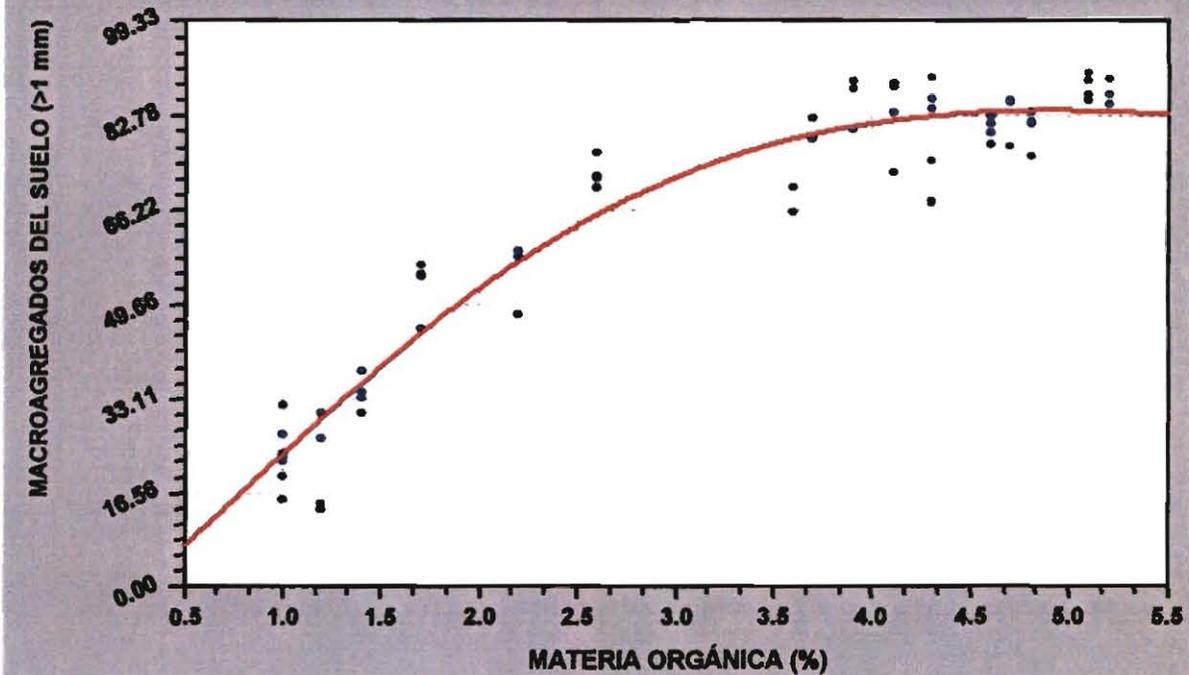
#### **5.4.6 EFECTO DE LA LABRANZA EN LOS MACROAGREGADOS Y MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO**

Para medir el grado de destrucción de macroagregados por la labranza, se agruparon los datos en dos texturas (Franco arcillosa y Franco arenosa), tomando sabanas sin disturbar, pasturas de *Brachiaria* renovadas cada año con rastras y praderas establecidas o renovadas con cultivos utilizando el cincel rígido como implemento de labranza. En el Cuadro 6, se observa como en texturas livianas se presentó una pérdida de materia orgánica en relación a la sabana de 63 y 41% por el uso de rastras y cincel respectivamente; lo que se tradujo igualmente en una pérdida significativa de los macroagregados (MAG). En texturas pesadas el impacto de la labranza en la destrucción de MAG fue bajo (11 y 3% por el uso de rastra y cincel respectivamente) asociado con una mayor conservación del nivel de materia orgánica.

#### **5.4.7 RESISTENCIA A LA PENETRACION EN SUELOS DE SABANA POR PAISAJE**

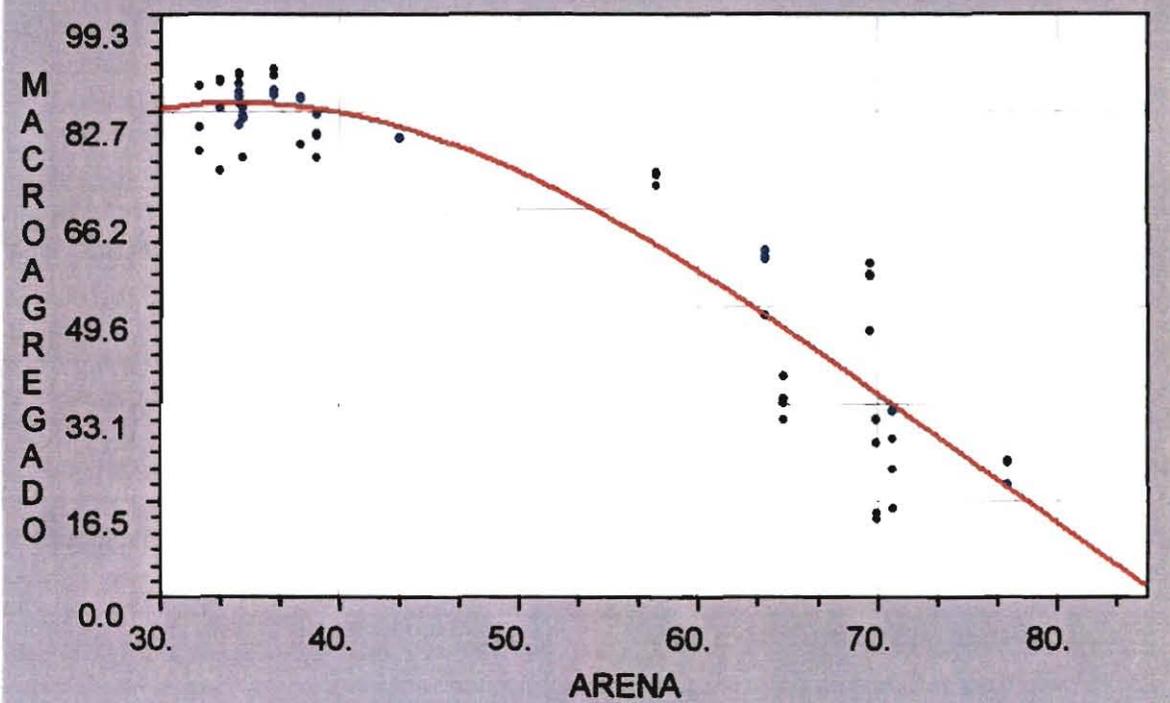
Las curvas de resistencia que se presentan a continuación fueron realizadas a capacidad de campo para reducir efectos de humedad en su respuesta. En la Figura 19 se comparan curvas de resistencia de diferentes sabanas de la altillanura plana agrupada por textura. En general la textura franco arenosa muestra unos valores relativamente bajos en los primeros 20 cm de profundidad (inferiores a  $10 \text{ kg/cm}^2$ ) mientras la textura arcillosa después de los 5 cm supera estos valores llegando a valores de resistencia de  $15 \text{ kg/cm}^2$  a los 20 cm de profundidad; que impiden un adecuado desarrollo radicular. La condición natural de menor resistencia de los suelos arenosos podría ser aprovechada para cultivos permanentes de raíz profunda sembrados *in situ* y uso de coberturas para retener humedad.

Fig 17 . RELACION ENTRE LOS MACROAGREGADOS DEL SUELO Y LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE SABANA



$$Y = (8.98+31.97X) / (1-0.069X+0.046X^2) \quad r=0.96$$

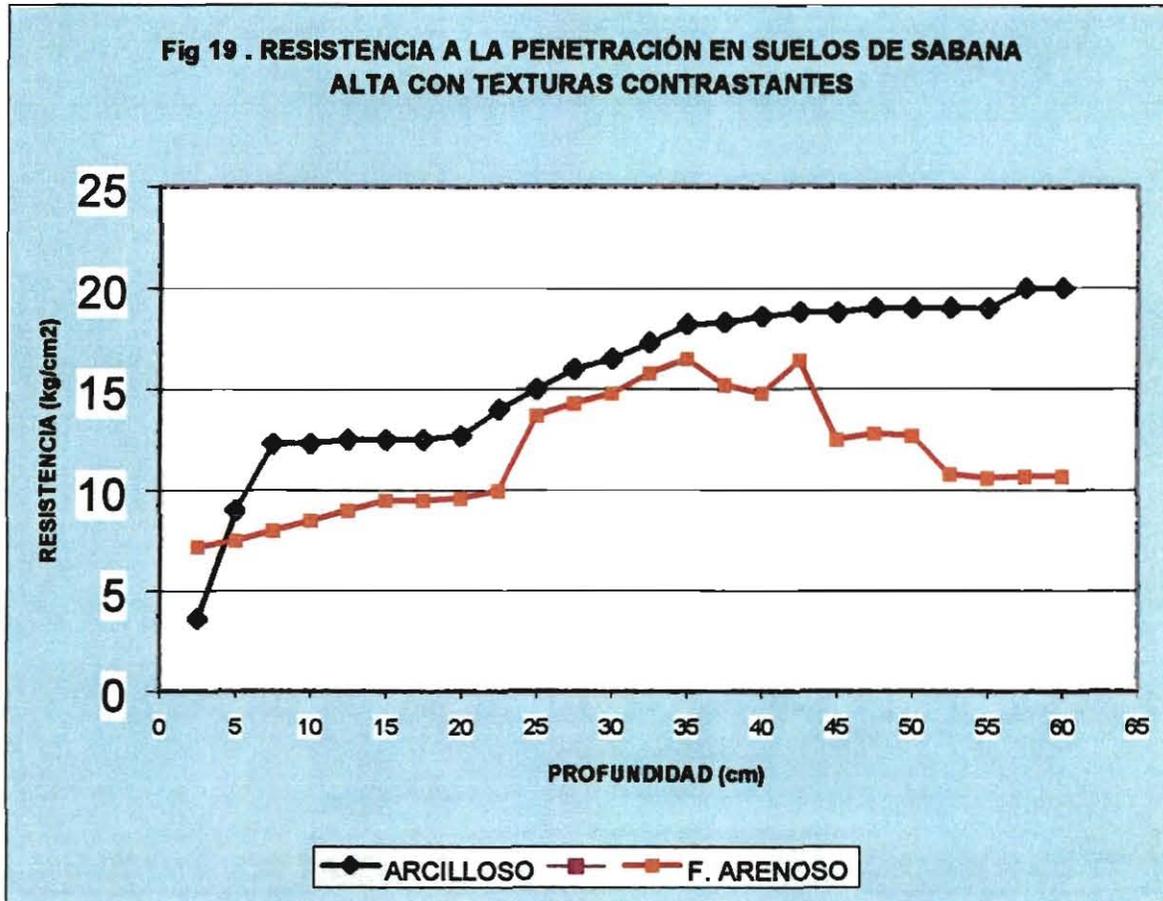
Fig 18 . RELACION ENTRE LOS MACROAGREGADOS DEL SUELO Y EL PORCENTAJE DE ARENA



$$Y=0.42+5.44-0.103X^2+0.00046X^3 \quad r=-0.94$$

**Cuadro 6. EFECTO DEL USO DEL SUELO EN LA DISTRIBUCION DE LOS MACROAGREGADOS Y EN LA MATERIA ORGANICA (0 A 5 cm PROF)**

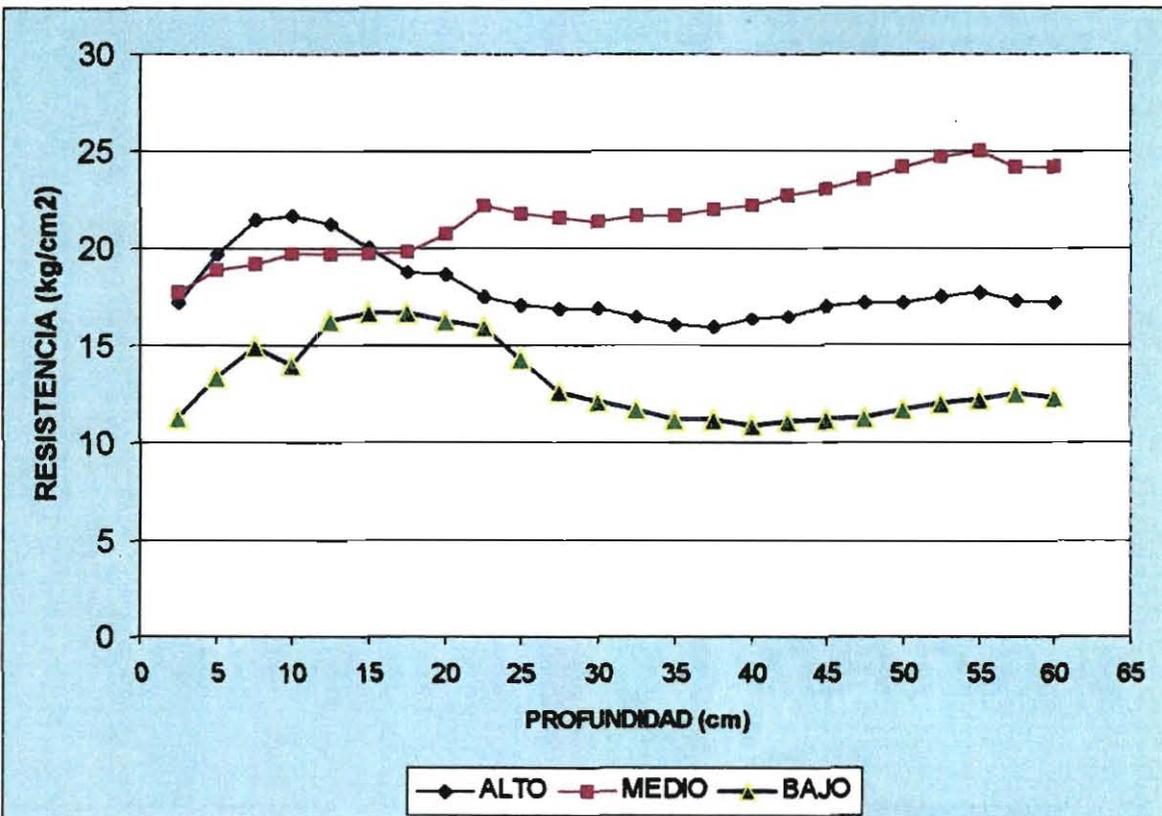
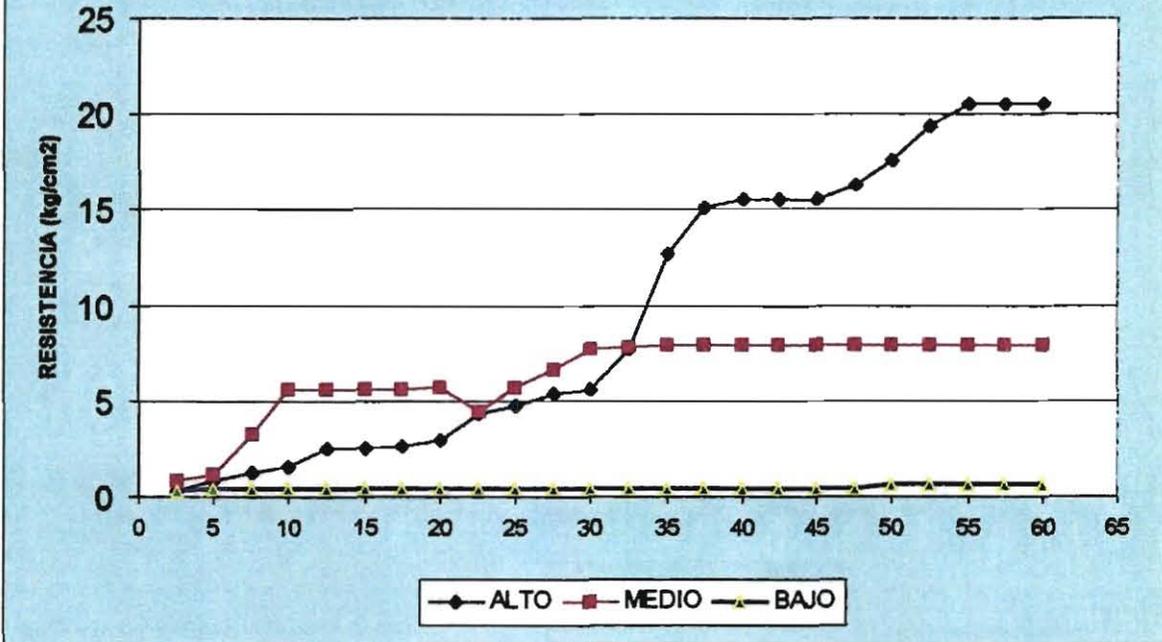
TAMAÑO AGREGADO (mm DE DIAMETRO)	SABANA	PASTURA TRADICIONAL (RASTRAS)	CULTIVOS-PASTOS (CINCEL)
----- PORCENTAJE -----			
<b>SUELO LIVIANO</b> (F. arenoso)			
>6 mm	29 a	4 b	19 ab
4 a 6 mm	9 a	3 c	5 bc
1 a 4 mm	23 a	17 c	17 b
-----			
<b>TOTAL</b>	61 a	24 c	41 b
<b>M.O (%)</b>	<b>2.7 a</b>	<b>1.1 c</b>	<b>1.6 bc</b>
<b>SUELO PESADO</b> (F. arcilloso)			
>6 mm	38 a	33 a	39 b
4 a 6 mm	15 a	12 a	14 a
1 a 4 mm	31 a	29 a	29 b
-----			
<b>TOTAL</b>	84 a	74 b	82 ab
<b>M.O (%)</b>	<b>4.3 a</b>	<b>3.7 c</b>	<b>4.7 b</b>



En la Figura 20, se presenta las curvas de resistencia a la penetración (REPE) en sabanas de la altillanura disectada y ondulada. Las mediciones de REPE en la altillanura disectada fueron tomadas en depresiones con pendientes entre el 20 a 30% en partes altas, medias y bajas de la pendiente; de igual manera en la altillanura ondulada se realizaron mediciones en sitios altos, medios y bajos con pendientes entre el 5 al 10%.

En las sabanas disectadas se presentaron valores de REPE inferiores a  $10 \text{ kg/cm}^2$  en todos los sitios hasta los 32,5 cm; registrándose los menores valores en las partes bajas ( $<1 \text{ kg/cm}^2$ ); asociado a altos contenidos de materia orgánica y una humedad más estable a través del año. En los sitios altos después de los 30 cm se aumenta la REPE por encontrarse subsuelo laterítico como influencia de la cercanía a montículos pedregosos. En contraste a las sabanas disectadas, las sabanas de la altillanura ondulada muestran valores de REPE superiores a  $10 \text{ kg/cm}^2$  en todo el perfil y en todos los sitios. Los mayores valores de REPE en la altillanura ondulada pueden estar asociados a cambios texturales a través del perfil y la mayor posibilidad de encontrar horizontes lateríticos con respecto a las sabanas de la altillanura plana que mantienen un perfil más homogéneo y más profundo.

**Fig 20. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN SABANAS DE LA ALTILLANURA DISECTADA (Arriba )Y ONDULADA (Abajo)**



#### **5.4.8 RESISTENCIA A LA PENETRACION EN SUELOS DE LA ALTILLANURA PLANA SEGÚN SU USO Y TEXTURA.**

El uso del suelo en cultivo de piña, caucho y rotación de cultivos anuales en texturas Franco arcillosas permitió disminuir los valores de resistencia de la penetración (REPE) respecto al promedio de las sabanas utilizadas como testigo como se observa en la Figura 21. En todos los usos se presentan valores inferiores a  $10 \text{ kg/cm}^2$  en los primeros 22 cm de profundidad. Se destaca el caucho por mantener valores de REPE bajos hasta 37 cm de profundidad.

Los usos del suelo en cultivos de palma africana, tabaco rubio y pasturas de *Brachiaria dictyoneura* en texturas Franco arenosas mostraron en promedio valores superiores a los  $15 \text{ kg/cm}^2$  en los primeros 25 cm, mientras el cultivo de pino mantuvo un promedio de  $10 \text{ kg/cm}^2$  con valores cercanos a las sabanas franco arenosas de la Figura 19. Es importante señalar que algunos de estos valores de resistencia posiblemente estén afectados por el sistema radicular que en el caso de la palma africana es abundante y extendido.

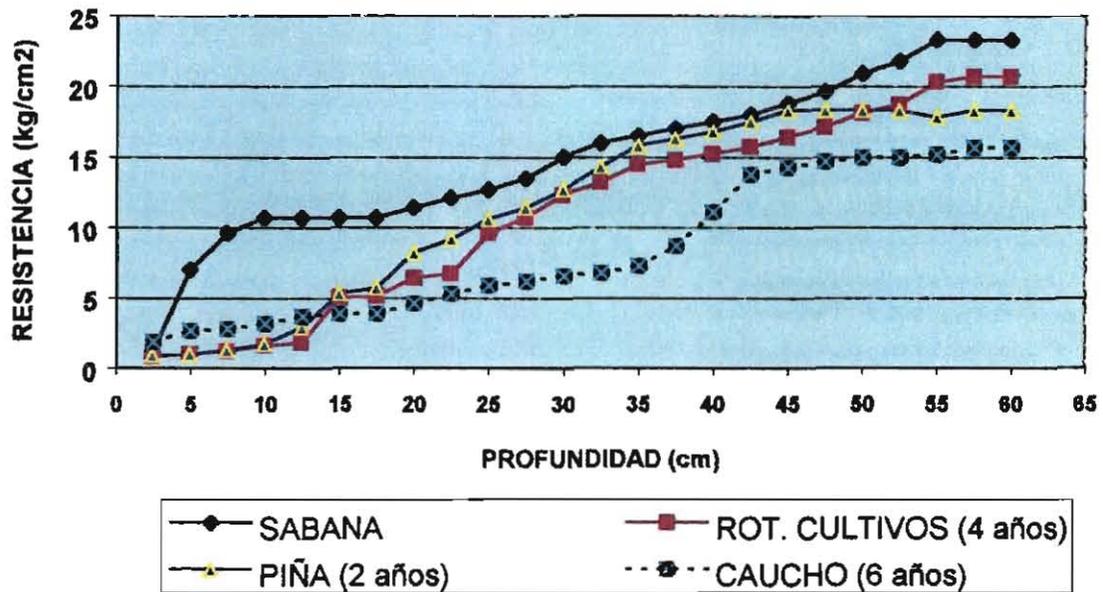
Los datos anteriores confirman lo discutido en puntos anteriores de la mayor fragilidad de los suelos arenosos a la pérdida de estructura superficial y la compactación a través del perfil.

#### **5.5 CAMBIOS MICROBIOLÓGICOS DEL SUELO EN FUNCION DEL PAISAJE, PROFUNDIDAD Y USO DEL SUELO.**

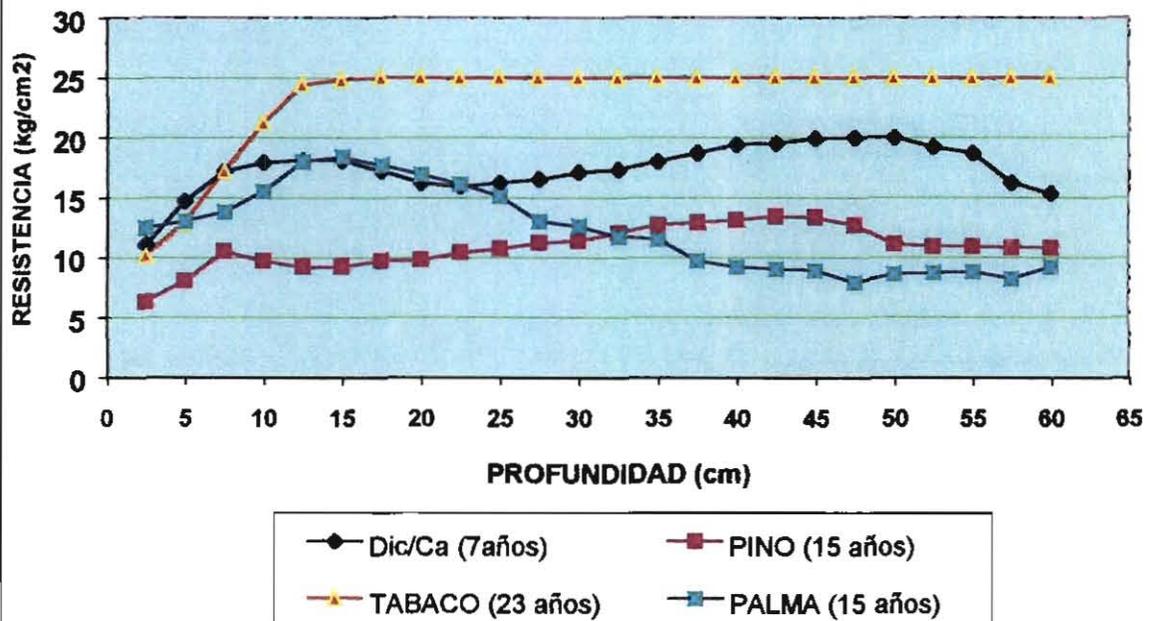
Los cambios de la población de bacterias, hongos y actinomicetos (expresadas como unidades formadoras de colonia por 100 gramos de suelo seco) en función del paisaje y la profundidad de muestreo se presentan en el Cuadro 7. En general los suelos muestran muy bajas poblaciones de microorganismos tanto por paisaje como en los sistemas de uso estudiados especialmente de bacterias y hongos. La mayor población de actinomicetos es indicativo de que la materia orgánica está compuesta principalmente por compuestos lignificados de alto peso molecular de lenta descomposición. Adicionalmente se encontró que la población de hongos y actinomicetos fue más abundante en los primeros 5 cm mientras las bacterias fueron más abundantes en la profundidad de 5 a 20 cm. La menor presencia de bacterias en la superficie puede ser debida al hecho de que tanto los actinomicetos como hongos sintetizan y excretan sustancias antibióticas que inhiben el crecimiento de bacterias. Entre los hongos que excretan antibióticos se encuentran el *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* y *Fusarium* que son los de mayor dominancia en la altillanura (Cuadro 10). Por otro lado se encontró una dominancia de bacterias *Pseudomonas* que son facultativas y tienen la capacidad para reducir nitratos.

Al analizar los microorganismos en sabanas y bajo diferentes usos del suelo (Cuadro 8), se encontró mayores poblaciones de bacterias y actinomicetos en sabanas bajas que en las altas. Las sabanas en pendientes bajas tienen contenidos relativamente altos de materia orgánica como se observó inicialmente en el Cuadro 3 y una mayor humedad que puede favorecer las *Pseudomonas* por una menor disponibilidad de oxígeno no limitante aparentemente para los actinomicetos pero si para los hongos.

**Fig 21. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN SEGÚN EL USO DEL SUELO EN TEXTURAS FRANCO ARCILLOSAS**



**Fig 22. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN SEGÚN EL USO DEL SUELO EN TEXTURAS FRANCO ARENOSAS**



**Cuadro 7. POBLACION DE BACTERIAS, HONGOS Y ACTINOMICETOS POR PAISAJE Y PROFUNDIDAD DEL SUELO.**

PARAMETRO	BACTERIAS	HONGOS	ACTINOMICETOS
----- Colonias / 100 gramos de suelo seco -----			
<b>PAISAJE</b>			
Alt. Plana	10 b	1123 a	203902 a
Alt. Ondulada	45 b	926 a	253112 a
Alt. Disectada	423 a	981 a	238474 a
<b>PROFUNDIDAD</b>			
0 a 5 cm	72 a	1274 a	289652 a
5 a 20 cm	114 a	683 b	181241 b
<b>Limite inferior</b>	$10^6$	$10^4$	$10^5$

a, b Letras distintas en la misma columna en cada parámetro indican diferencias significativas al 5% por la prueba de rango múltiple de Duncan.

**Cuadro 8. POBLACION DE BACTERIAS, HONGOS Y ACTINOMICETOS EN SABANAS Y BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO.**

PARAMETRO	BACTERIAS	HONGOS	ACTINOMICETOS
----- Colonias / 100 gramos de suelo seco -----			
<b>SABANAS</b>			
Sabana alta	24 b	1114 a	160575 ab
Sabana media	35 b	797 ab	281005 ab
Sabana baja	527 a	719 ab	327485 a
<b>USOS DEL SUELO</b>			
Pastura tradicional	69 b	1447 a	218621 ab
Cultivos/Pastos	54 b	847 ab	311598 a
Monocultivos anuales	0 b	1499 a	153648 ab
Rotación de cultivos	0 b	137 b	97804 b
Cultivos permanentes	0 b	242 b	106057 b

a, b Letras distintas en la misma columna en cada parámetro indican diferencias significativas al 5% por la prueba de rango múltiple de Duncan

Es interesante resaltar que con ninguno de los usos actuales del suelo se ha logrado un mejoramiento significativo de las poblaciones microbiológicas del suelo con respecto a la sabana alta; lo que hace necesario iniciar investigaciones más detalladas *in situ* en este campo y conocer las interacciones entre micro meso y macrofauna, plantas, nutrientes, suelo y clima.

En el Cuadro 9, se muestra la población de hongos micorrícicos (MVA) en función del paisaje y uso del suelo bajo dos profundidades de muestreo. En general el número de esporas por 100 gramos de suelo no mostró diferencia ni por paisaje ni por uso del suelo, encontrándose una mayor concentración de esporas en la profundidad superior (0 a 5 cm).

El número de esporas encontrado como promedio en los paisajes de 376 y 303 esporas/100 g de suelo en las profundidades 0-5 y 5-20 cm están dentro de las concentraciones normales de esporas reportadas en la literatura; sin embargo con los diferentes usos del suelo no se observa aumento en el número de esporas, posiblemente porque las plantas hospederas dependen menos de las micorrizas por tener sistemas radiculares más desarrollados y ramificados que los de las sabanas.

**Cuadro 9. NUMERO DE ESPORAS DE HONGOS MICORRICICOS (MVA) POR SISTEMA DE TIERRA Y USO DEL SUELO EN LA ALTILLANURA**

VARIABLE	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	
	0 A 5	5 A 20
	Esporas / 100 gramos de suelo seco	
<b>SISTEMA DE TIERRA</b>		
Altillanura plana	361 a	297 a
Altillanura ondulada	366 a	353 a
Altillanura disectada	402 a	259 a
<b>USOS DEL SUELO</b>		
Monocultivos anuales	541 a	584 a
Rotación de cultivos	512 a	378 ab
Cultivos permanentes	404 a	258 b
Pastura tradicional	338 a	284 b
Sabanas altas	367 a	313 b
Sabanas bajas	370 a	173 b

a, b Letras distintas en la misma columna en cada parámetro indican diferencias significativas al 5% por la prueba de rango múltiple de Duncan

Una relación de los principales géneros de bacterias y hongos y una lista de las especies de micorrizas identificadas se presenta en el Cuadro 10. Un 42.7 % de las bacterias encontradas son del género *Pseudomona* y sólo un 1.3% son *Xanthomonas*, el resto otros géneros no identificados. Entre los hongos el género *Penicillium* fue dominante (76.8%) seguido de *Trichoderma* (13.2%), *Fusarium* (2.4%), *Chlamydomyces* (2.2%) y *Aspergillus* (1.9%). Entre las micorrizas se identificaron seis especies del género *Glomus*, dos del género *Acaulospora* y una especie de los géneros *Gigaspora* y *Sclerocystis*.

**Cuadro 10. PRINCIPALES GENEROS Y ESPECIES DE MICROORGANISMOS ENCONTRADOS EN LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA**

BACTERIAS	HONGOS	HONGOS MICORRICICOS (MVA)
<i>Pseudomona</i> sp	<i>Penicillium</i> sp	<i>Glomus claroides</i>
<i>Xanthomona</i> sp	<i>Aspergillus</i> sp	<i>Glomus fasciculatum</i>
	<i>Fusarium</i> sp	<i>Glomus glomerulatum</i>
	<i>Chlamydomyces</i> sp	<i>Glomus macrocarpum</i>
	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Glomus reticulata</i>
	<i>Mucor</i> sp	<i>Glomus tenebrosum</i>
	<i>Mycogone</i> sp	<i>Acaulospora denticulata</i>
	<i>Verticilium</i> sp	<i>Acaulospora thomii</i>
	<i>Paecilomyces</i> sp	<i>Entrophosra</i> sp
	<i>Pseudocercospora</i> sp	<i>Scutellosofora</i> sp
	<i>Helycomyces</i> sp	<i>Gigaspora albida</i>
	<i>Macrophomina</i> sp	<i>Sclerocystis dussii</i>
	<i>Acrocilindrum</i> sp	

La importancia de hacer esfuerzos en el estudio de la micorrizas vesiculo-arbusculares radica en el papel que juega la asociación simbiótica, mutualista, entre la raíz de la planta y el hongo endotrófico a través del sistema interconectado de micelios internos y externos suministrando nutrientes para la planta sobre todo los de lenta difusión como es el caso del fósforo. Por otro lado se estima que las MVA están presentes en el 80% de las plantas superiores y en general no hay especificidad para la penetración del endófito, lo que contrasta con las ectomicorrizas.

## 5.6 APOORTE FORRAJERO Y FRECUENCIA DE PRESENCIA DE LAS ESPECIES DE SABANA EN DIFERENTES PAISAJES

La composición florística de las sabanas fue evaluada en base a dos criterios: 1) Teniendo en cuenta la contribución ó aporte forrajero (AF) de cada especie dentro de la biomasa total disponible estimada por botanal y 2) la frecuencia de aparición de la especie en cada uno de los marcos evaluados (FAM). Sólo se tuvieron en cuenta las especies de gramíneas y ciperáceas por ser las que contribuyen con la mayor parte de la biomasa. En el Cuadro 11, se presenta el listado de todas las especies encontradas y el código de identificación que se utiliza como referencia en los cuadros sucesivos.

**Cuadro 11. PRINCIPALES ESPECIES ENCONTRADAS EN LOS SITIOS DE MUESTREO EN DIFERENTES PAISAJES DE LA ALTILLANURA**

ESPECIE No	NOMBRE	FAMILIA
1	<i>Trachypogon vestitus</i>	Gramineae
2	<i>Paspalum pectinatum</i>	Gramineae
3	<i>Paspalum parviflorum</i>	Gramineae
5	<i>Paspalum carinatum</i>	Gramineae
8	<i>Leptocoryphium lanatum</i>	Gramineae
10	<i>Rynchospora podoesperma</i>	Cyperaceae
11	<i>Rynchospora corimbosa</i>	Cyperaceae
12	<i>Andropogon bicornis</i>	Gramineae
13	<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	Gramineae
16	<i>Gymnopogon foliosus</i>	Gramineae
17	<i>Gymnopogon spicatus</i>	Gramineae
21	<i>Aristida riparia</i>	Gramineae
23	<i>Axonopus purpussi</i>	Gramineae
24	<i>Axonopus fissifolius</i>	Gramineae
25	<i>Axonopus aureus</i>	Gramineae
28	<i>Mesosetum pitieri</i>	Gramineae
30	<i>Thrasya petrosa</i>	Gramineae
31	<i>Cyperus flavus</i>	Cyperaceae
34	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Gramineae
35	<i>Andropogon selloanus</i>	Gramineae
54	<i>Panicum trichantum</i>	Gramineae

En el Cuadro 12 se presenta la composición florística en dos texturas de la altillanura plana. La biomasa total estimada para suelo arcilloso fue superior (2429 kg MS/ha) que en el F. Arenoso (1732 kg MS/ha) asociada posiblemente a sus mayores contenidos de MO. Las especies de mayor AF en el suelo arcilloso fueron en su orden la 1, 13 y 34 con el 68.5, 18.5 y 6% respectivamente, mientras en la F. Arenosa fueron las especies 1, 2 y 30 con 35.5, 34.5 y 9% en el mismo orden. Es evidente que en las texturas pesadas hay una gran dominancia de la especie No 1 cuya FAM es del 100% y produce buen forraje, mientras en la textura arenosa las especies 1 y 2 aparecen con un AF similar pero con FAM diferentes (90 y 60% respectivamente) lo que sugiere que la disponibilidad de la especie 1 es afectada por la textura y MO. Por otro lado la alta infiltración de la textura arenosa parece mantener un mejor equilibrio de las especies en su AF y FAM.

**Cuadro 12. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE ESPECIES NATIVAS SEGUN SU APORTE FORRAJERO (AF) Y FRECUENCIA DE APARICION EN LOS MARCOS (FAM) EN DOS TEXTURAS CONTRASTANTES DE LA ALTILLANURA PLANA**

ESPECIE No	ARCILLOSO		FRANCO ARENOSO	
	AF	FAM	AF	FAM
				%
1	68.5	100	35.5	90
13	18.5	45	1.0	5
34	6.0	25	7.5	20
10	2.0	2	7.0	50
21	2.0	2	----	----
11	1.5	2	----	----
35	1.5	2	4.5	5
2	----	----	34.5	60
30	----	----	9.0	2
25	----	----	1.0	10
<b>FORRAJE (Kg MS/ha)</b>	2429 Sd 250		1732 Sd 137	
<b>ALTURA (cm)</b>	44		27	
<b>SUELO DESCUBIERTO (%)</b>	10		6	
<b>MATERIA ORGÁNICA (0-5 CM) %</b>	4.7		1.9	
<b>INFILTRACIÓN (mm/hora)</b>	10		271	

AF: Aporte forrajero de cada especie en porcentaje

FAM: Frecuencia de aparición de cada especie en el total de los marcos evaluados

La distribución de las especies en un plano inclinado de la altillanura ondulada se presenta en el Cuadro 13. El forraje total en oferta aumentó con el sentido de la pendiente, con biomásas de 836, 1095 y 1440 kg de MS/ha para los sitios alto, medio y bajo respectivamente; de la misma manera aumentaron las tasas de infiltración posiblemente asociada a que se presentaron cambios de textura entre sitios. Las partes altas y medias de estas sabanas son generalmente secas durante la estación lluviosa. Los valores de forraje en general son más bajos y con menor cobertura que los de la altillanura plana. Es interesante resaltar que la especie 1 es la responsable del mayor AF en todos los sitios y aumentó su disponibilidad en el sentido de la pendiente posiblemente como respuesta a un mayor contenido de MO y humedad. La especie 10 es importante en su AF en los sitios alto y medio pero es sustituida por la especie 3 en el sitio bajo. Las mayores FAM fueron las especies 1 y 10 en los sitios alto y medio y las especies 1 y 3 en la parte baja.

**Cuadro 13. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE ESPECIES NATIVAS SEGUN SU APORTE FORRAJERO (AF) Y FRECUENCIA DE APARICION EN LOS MARCOS (FAM) EN UN PLANO INCLINADO DE LA ALTILLANURA ONDULADA (pendiente del 8%).**

ESPECIE No	SITIO ALTO		SITIO MEDIO		SITIO BAJO	
	AF	FAM	AF	FAM	AF	FAM
	----- % -----					
1	56.0	90	66.0	95	80.0	95
10	11.5	85	16.0	75	0.5	5
25	10.0	35	-----	---	2.0	15
28	9.5	20	1.5	5	----	---
35	5.5	15	-----	---	----	---
13	3.5	25	-----	---	----	---
24	2.0	10	8.5	25	0.5	5
31	1.0	5	-----	---	----	---
3	1.0	5	-----	---	17.0	5
23	-----	---	3.5	15	----	---
34	-----	---	4.0	20	----	---
8	-----	---	0.5	5	----	---
<b>Kg MS/ha</b>	836 Sd 38		1095 Sd 100		1400 Sd 130	
<b>ALTURA (cm)</b>	18		22		27	
<b>SUELO DESC (%)</b>	40		30		25	
<b>TEXTURA</b>	F Ar		F. Arc Ar		F Ar	
<b>MO % (0-5 CM)</b>	2.7		3.5		3.5	
<b>INFILT. (mm/hora)</b>	99		102		165	

AF: Aporte forrajero de cada especie en porcentaje

FAM: Frecuencia de aparición de cada especie en el total de los marcos evaluados

Para el caso de las sabanas localizadas en las depresiones de la altillanura disectada se encontró la mayor oferta forrajera, variando desde 3382 kg MS/ha en los sitios altos hasta 4494 kg MS/ha en sitios bajos y con una cobertura vegetal del 100% en todos los casos. Los bajos valores de infiltración de estas sabanas se explica por una alta retención de humedad asociada a los mayores contenidos de MO y baja pérdida de humedad dada la alta cobertura. La especie 1 nuevamente es la de mayor AF en los sitios alto y medio (68.5 y 84%) pero con mínimo AF en el sitio bajo (3.5%) donde el nivel de humedad parece limitarla y pasa a ser sustituida por las especies 13, 35, 34 y 12, las cuales muestran también buena FAM.

**Cuadro 14. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE ESPECIES NATIVAS SEGÚN SU APOORTE FORRAJERO (AF) Y FRECUENCIA DE APARICIÓN EN LOS MARCOS (FAM) EN UN PLANO INCLINADO DE LA ALTILLANURA DISECTADA (pendiente del 15%).**

SITIO BAJO ESPECIE No	SITIO ALTO		SITIO MEDIO		S	
	AF	FAM	AF	FAM	AF	FAM
			%			
1	68.5	100	84.0	95	3.5	5
13	16.5	25	2.0	5	44.0	45
35	8.5	3	2.0	10	18.5	45
30	4.0	10	5.5	20	2.5	15
34	1.0	10	1.5	5	11.5	35
12	----	---	----	---	11.5	35
17	0.5	5	----	---	2.0	20
54	----	---	3.0	30	2.5	15
10	----	---	1.0	10	3.5	5
16	1.0	5	----	---	----	---
11	----	---	0.5	5	----	---
5	----	---	0.5	5	----	---
<b>Kg MS/ha</b>	3382 Sd 315		3670 Sd 403		4494 Sd 584	
<b>ALTURA (cm)</b>	37		34		41	
<b>SUELO DESC (%)</b>	0		0		0	
<b>TEXTURA</b>	F		F. Arc Ar		F Arc Ar	
<b>MO % (0-5 CM)</b>	5.9		5.2		13.2	
<b>INFILT. (mm/hora)</b>	13		37		56	

AF: Aporte forrajero de cada especie en porcentaje

FAM: Frecuencia de aparición de cada especie en el total de los marcos evaluados

## 5.7 PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA AGROPASTORIL Y PASTORIL TRADICIONAL EN SUELOS CON DIFERENTE TEXTURA

Parte de los sitios muestreados corresponden a experimentos de pastoreo en fincas donde se ha venido evaluando el comportamiento animal y de los cuales se presentó información en el punto relacionado al efecto de la labranza en los macroagregados y materia orgánica del suelo (Cuadro 6).

En el Cuadro 15, se observa como la producción de arroz y carne es mayor en texturas pesadas que en texturas livianas, como respuesta a calidad de suelo, mejor agregación y retención de humedad como se observó en capítulos anteriores. Por otro lado, la respuesta del suelo a manejo es particularmente importante en texturas pesadas en donde la producción de carne con el sistema Arroz+pastos+leguminosas es de casi cuatro veces mayor que con pasturas establecidas en forma tradicional durante tres años de evaluación. Por otro lado, se estima que con producciones de 2600 kg/ha de arroz se cubren todos los costos de establecimiento de la pradera; rendimientos que se logran aún en texturas livianas. Con el sistema arroz+pastos se pueden hacer renovaciones cada tres años para evitar efectos de compactación en los primeros 10 cm de profundidad por la mayor presión de pastoreo sobre el sistema. Con arroz+pastos se puede reducir en tres veces la frecuencia de pases y aumentar en tres veces los niveles de infiltración y producir aumentos en la materia orgánica, mientras con la renovación tradicional con rastra cada año se producen los efectos opuestos. Los establecimientos a través de arroz garantizan un buen establecimiento de la pradera evitando barrido de semilla, fertilizante y erosión de suelo lo que no ocurre con las siembras al voleo .

**Cuadro 15. PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA AGROPASTORIL VS PASTORIL EN SUELOS CON DIFERENTES TEXTURAS (promedio de 3 años)**

TEXTURA	M O	ARROZ+PASTO+LEGUMINOSA 1/		PASTURA TRADICIONAL 2/
	%	ARROZ	CARNE	CARNE
		Kg/ha	kg/ha/año	kg/ha/año
Arcilloso	4.3	3400 Sd 200	544 Sd 45	141 Sd 14
F. Arcilloso	3.9	3100 Sd 150	405 Sd 28	-----
F. Arenoso	1.6	2700 Sd 190	222 Sd 21	101 Sd 12

1/ Praderas de *B. decumbens* y *B. dictyoneura* establecidas con arroz utilizando una fertilización básica en kg/ha de 300 de cal dolomítica + 175 de úrea + 250 de SFT + 200 de KCl + 5 de Zn.

2/ Praderas de *B. decumbens* y *B. dictyoneura* establecidas al voleo utilizando en promedio 12 kg/ha de P como Calfos o como Fosforita Huila y renovadas con 1 ó 2 pases de rastra por año sin fertilización.

La renovación de praderas a través de cultivos es otra estrategia fundamental no sólo para recuperar las especies forrajeras sino para recuperar la capacidad productiva del suelo. En el Cuadro 16, se presenta el caso de una pradera de *Brachiaria decumbens* con 15 años de uso altamente degradada y recuperada a través de diferentes métodos: Rastra más fertilización, a través de arroz y a través de maíz. La mayor productividad se logró en la renovación con arroz alcanzando 387 y 298 kg de carne/ha en invierno y verano respectivamente la cual fue en total cinco veces superior a la renovación con rastra + fertilización fosfórica (124 y 9 kg de carne/ha). La renovación con maíz fue inferior en productividad de carne a la del arroz debido a que el mayor nivel de cal utilizado en el maíz, indujo un vigoroso desarrollo del *Arachis pintoii* que no permitió un adecuado desarrollo de la gramínea. Como productos adicionales se tienen las producciones de grano con los dos cultivos los cuales financian totalmente el costo de renovación a corto plazo y mejoran el status nutricional del suelo en contenido de bases y materia orgánica como se aprecia en el Cuadro 16.

**Cuadro 16. PRODUCCION DE CARNE ESTACIONAL EN PRADERAS DE *Brachiaria decumbens* RECUPERADAS BAJO DIFERENTES MÉTODOS EN UN SUELO ARCILLOSO DE LA ALTILLANURA PLANA (promedio de 2 años)**

TRATAMIENTO		LLUVIA	SECA	GRANO	Ca+Mg+K	MO
		----- kg carne/ha		----- kg/ha	----- meq/100 g	----- %
B. decumbens degradado	1/	73 d	-5 c	-----	0.44	3.3
Rastra+22 kg/ha/año de P	2/	124 c	9 c	-----	0.32	3.0
Maiz+S.capitata+A. Pintoii	3/	255 b	33 b	2600	1.14	4.1
Arroz+S.capitata+A. Pintoii	4/	387 a	298 a	3400	0.52	3.6

1/ Pradera original con 15 años de uso con una cobertura de 35% de *B. decumbens*, 50% de malezas (*Mesosetum pitieri* y *Axonopus purpussi*) y 15% de suelo descubierto. Desde su establecimiento fue fertilizada cada 4 años con 12 kg/ha de P.

2/ Se aplicó dos pases de rastra en el mismo sentido+22 kg/ha como SFT dos meses antes del inicio del experimento

3/ Aplicación de 1500 kg/ha de cal dolomítica + 20 de Zn + fertilización básica (80 de N+ 50 de P + 100 de K)

4/ Aplicación de 300 kg/ha de cal dolomítica + 5 de de Zn + fertilización básica (80 de N+ 50 de P + 100 de K)

## VI. NIVELES CRITICOS DE ALGUNAS VARIABLES QUIMICAS, FISICAS Y BIOLÓGICAS PARA LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA PLANA

En el Cuadro 17, se presenta un resumen de algunas variables químicas y físicas de los suelos de la Altillanura plana por textura y se plantean algunos indicadores y sus niveles críticos aceptables en una primera aproximación.

**CUADRO 17. CARACTERISTICAS QUIMICAS Y FISICAS PROMEDIAS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA PLANA POR TEXTURA Y NIVELES CRITICOS ACEPTABLES (0 A 20 cm). Primera aproximación.**

VARIABLE	PESADA	MEDIA	LIVIANA	NIVEL CRITICO ACEPTABLE
<b>ARENA</b>	<b>21.00</b>	<b>37.00</b>	<b>65.00</b>	
<b>D.A. (g/cc)</b>	<b>1.28</b>	<b>1.46</b>	<b>1.61</b>	<b>&lt;1.2</b>
<b>M.O. (%)</b>	<b>4.58</b>	<b>2.98</b>	<b>1.14</b>	<b>&gt;5</b>
<b>Infiltración (cm/hora)</b>	<b>4.5</b>	<b>8.0</b>	<b>14.0</b>	<b>&gt;15</b>
<b>C.C (% en volumen)</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>35</b>
<b>P.M.P (% en volumen)</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
<b>Agua disponible (%)</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>25</b>
<b>C. hidráulica (cm/h)</b>	<b>1</b>	<b>1.4</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Porosidad total (%)</b>	<b>51</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<b>R.T.C. (Kpa)</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>57</b>	<b>&lt;45</b>
<b>REPE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>&lt;10</b>
<b>P (ppm)</b>	<b>1.00</b>	<b>1.27</b>	<b>3.85</b>	<b>20</b>
<b>Ca (meq/100 g)</b>	<b>0.29</b>	<b>0.11</b>	<b>0.20</b>	<b>1.5</b>
<b>Mg (meq/100 g)</b>	<b>0.09</b>	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.6</b>
<b>K (meq/100 g)</b>	<b>0.09</b>	<b>0.06</b>	<b>0.04</b>	<b>0.15</b>
<b>Al ( ppm)</b>	<b>2.69</b>	<b>2.31</b>	<b>0.91</b>	<b>1.0</b>

C.C = Capacidad de campo

.M.P.= Punto de marchitez permanente

R.T.C.= Resistencia tangencial al corte (0 a 3 cm de profundidad)

REPE= Resistencia a la penetración de 0 a 20 cm de profundidad (penetrómetro de cono).

En general se requiere aumentar los niveles de materia orgánica tanto en cantidad como en calidad, disminuir la densidad aparente, aumentar la infiltración y capacidad de campo para obtener un mayor porcentaje de agua disponible para las plantas, disminuir la resistencia tangencial al corte de 0 a 3 cm de profundidad (<45 Kpa) para lograr aumentar la infiltración y disminuir la resistencia a la penetración de las raíces.

Desde el punto de vista microbiológico es necesario incrementar las poblaciones de bacterias ( $>10^6$ ), hongos ( $>10^4$ ) y micorrizas ( $>10^3$ ) y mantener las poblaciones de actinomicetos a través de un manejo integral del suelo (labranzas, fertilización, manejo de residuos y biomasa forrajeras). El mejoramiento biológico y físico-químico del suelo inicia con el tipo y época de labranza. Cuando se realiza labranza temprana (Noviembre y Abril) y se utilizan cinceles a 30 cm de profundidad se destruye el 95% de las hormigas y se protege el 77% de la población de lombrices las cuales permanecen inmovilizadas durante el verano en estratos profundos del suelo; en contraste cuando se realiza labranza tardía (Mayo-Junio) el 100% de las lombrices se encuentra en los primeros 20 cm del suelo, la posibilidad de destrucción física con el uso de rastras es alto, agravado con un bajo control de hormigas y destrucción de la estructura física del suelo por tener humedades cercanas a capacidad de campo.

El potencial de mejoramiento biológico de suelo se puede lograr incorporando al suelo una mayor cantidad y calidad de la materia orgánica que permita incrementar significativamente las poblaciones de lombrices ( $>140000$  ind/ha), las cuales a su vez permiten activar la cadena microbiológica a través del sustrato de suelo y hojarasca consumida y transformada por las lombrices. Entre las lombrices nativas se destaca la especie *Martiodrilus carimaguensis* por su alto incremento en población (65 veces) y consumo (27 veces) en praderas de *Brachiaria decumbens* + kudzú con relación a la sabana nativa como se aprecia en el Cuadro 18.

**Cuadro 18. POBLACION Y CONSUMO DE LA LOMBRIZ *Martiodrilus carimaguensis* EN DIFERENTES PASTURAS EN CARIMAGUA.**

PASTURA	POBLACION	CONSUMO TOTAL
	----- Individuos/ha	----- Toneladas/ha/año
Sabana nativa	2750	14
<i>B. decumbens</i> puro	108300	227
B. dec + Kudzú	180500	378

Fte : Rangel, A.F. (1996)

En la parte química del suelo es importante lograr unos niveles mínimos de Calcio y Magnesio en forma balanceada y homogénea a través del perfil (como se indica en el Cuadro 17, para aumentar las posibilidades de uso de germoplasma con diferentes niveles de adaptación y capacidad productiva y poder construir capas arables. Para lograr balances adecuados de calcio y magnesio se pueden utilizar mezclas de bajo costo como la cal dolomítica y fosfórica huila incorporadas con cincel hasta 30 cm de profundidad; de esta manera se hace un uso más eficiente de estas dos fuentes de baja solubilidad y una mejor oferta nutricional de Ca, Mg y P a las raíces de las plantas. El resto de nutrientes deben aplicarse en forma soluble durante el cultivo. En el Cuadro 19 se presenta una guía de las cantidades de cal dolomítica y fosforita huila necesarias para lograr un mejor balance de Ca y Mg en el suelo y satisfacer los requerimientos de algunos cultivos en texturas medias.

**Cuadro 19. CANTIDAD DE FERTILIZANTE NECESARIA PARA SUPLIR REQUERIMIENTOS DE CALCIO Y MAGNESIO EN LOS DOS PRIMEROS AÑOS PARA ALGUNOS CULTIVOS (Suelos Franco Arcillosos)**

CULTIVOS	PRIMER AÑO		SEGUNDO AÑO	
	CAL DOL.	F. HUILA	CAL DOL.	F. HUILA
GRAMINEAS PURAS	200	250		
PASTOS+LEGUMINOSAS	300	400		
ARROZ + PASTOS	500	600	250	300
MAIZ	1000	1200	500	600

## VII. CONCLUSIONES

### DISTRIBUCION DE LLUVIAS

1. Desde el punto de vista de requerimientos hídricos de pastos y cultivos las lluvias inician a partir de la semana 16 (22 de Abril) y terminan en la semana 46 (19 Noviembre) equivalente a un período de lluvias de 7 meses válido en el área de influencia de Puerto López hasta Carimagua.
2. Esta distribución de lluvias implica que las prácticas de preparación temprana de suelos deben iniciarse a mediados de Noviembre y complementarse en el mes de Abril para no afectar la condición física del suelo, controlar hormigas y malezas y reducir al mínimo la destrucción de la población de lombrices.
3. Si se usa bien la distribución de las lluvias, es posible hacer rotación de cultivos aprovechando el veranillo de Agosto para hacer la labranza del segundo cultivo; sin embargo, en la Altillanura del Departamento del Vichada entre La Primavera y los límites con Venezuela dónde la precipitación es 56% inferior a la de Puerto López y no se conoce la distribución semanal de las lluvias la rotación de cultivos es más limitada.

### QUIMICA DEL SUELO

1. Los suelos de sabana presentan diferencias químicas por pendiente y por profundidad. Las sabanas bajas muestran en el perfil del suelo niveles de MO, P y bases totales superiores a las de las sabanas altas, en un 70, 68 y 24% respectivamente. Los nutrientes se concentran principalmente en la profundidad de 0 a 5 cm.
2. Los usos del suelo con cultivos permanentes (palma africana, caucho, pino y cítricos) y rotación de cultivos mostraron mayor contenido de nutrientes que con pasturas mejoradas y monocultivos anuales.
3. El contenido de nutrientes, en el del perfil del suelo fue desuniforme en todos los usos del suelo, concentrándose la mayor cantidad de nutrientes en la profundidad de 0 a 5 cm, especialmente el fósforo y el calcio y en menor grado el potasio.
4. La labranza entre 0 a 15 cm de profundidad con dosis de 2000 y 3000 kg/ha de cal dolomítica mostraron los máximos rendimientos en *Panicum maximun* y Maíz Sikuaní v-110; sin embargo, la máxima eficiencia en reducir el porcentaje de saturación de aluminio ocurrió en la profundidad de 30 cm y con 3000 kg/ha de cal dolomítica.
5. El contenido de potasio a través del perfil no fue afectado por las dosis de cal y profundidad de labranza, con una distribución mas uniforme que el calcio y el magnesio indicando mayor movilidad que estos elementos.

- 6 El uso del cincel rígido permitió en promedio valores bajos de resistencia a la penetración ( $<10 \text{ kg/cm}^2$ ) hasta 22.5 cm y la rastra hasta 7.5 cm de profundidad, lo cual permitió una infiltración acumulada de 2.7 veces mayor que con el uso de rastras.

## CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO

1. La tasa de infiltración de agua en sabanas de la Altillanura ondulada (Ao), fue superior a la Altillanura plana (Ap) y disectada (Ad); por tener en general altos porcentajes de arena y baja resistencia tangencial al corte (RTC) superficial. Las sabanas en pendientes bajas mostraron en general una mayor infiltración que las sabanas altas.
2. El uso del suelo en cultivos permanentes permitió tasas de infiltración moderadamente rápidas, mientras con el uso de monocultivos anuales se obtuvieron infiltraciones lentas. Las pasturas en general mostraron infiltraciones moderadas.
3. Una relación exponencial positiva ( $r=0.96$ ) fue encontrada entre el porcentaje de arena y la infiltración de agua acumulada en dos horas en sabanas altas. Suelos con menos de 20% de arena son de lenta infiltración y los mayores de 70% son de rápida infiltración.
4. Una relación exponencial negativa ( $r=-0.86$ ) fue encontrada entre la resistencia tangencial al corte medida a 3 cm de profundidad y la infiltración acumulada; valores inferiores a 20 Kpa favorecen la infiltración y superiores a 45 Kpa la reducen sustancialmente.
5. El porcentaje de agua disponible (PAD) medido bajo condiciones de campo en sabanas altas sin disturbar cambió por textura y profundidad. En la profundidad de 0 a 20 cm el PAD fue de 16, 14 y 9% para las texturas Arcillosa, F. arcillosa y F. arenosa respectivamente y de 0 a 40 cm fue de 9, 9 y 7% en el mismo orden textural.
6. El porcentaje de materia orgánica (MO) y la densidad aparente (DA) cambió con la textura; texturas pesadas mostraron mayor contenido de MO y menor DA mientras en texturas livianas se encontró baja MO y alta DA. Por otro lado la MO disminuyó con la profundidad mientras la DA permaneció relativamene constante.
7. En los suelos de sabanas altas predominan las arenas finas ( $<0.25 \text{ mm}$ ) y representan entre el 60 al 80% en todas las texturas y profundidades hasta 40 cm.
8. Las pruebas de humedecimiento y secamiento del suelo durante la época seca en sabanas de la Altillanura plana, indican, que los suelos pesados se humedecen más rápidamente (24 horas) que los livianos (96 horas); mientras la fase de secamiento completa ocurre en 15 días de verano para ambas texturas.
9. Los macroagregados del suelo (MAG) en suelos de sabana sin disturbar aumentaron con el porcentaje de materia orgánica ( $r=0.96$ ) y disminuyeron con el porcentaje de arena ( $r=-0.94$ ). En general suelos con contenidos inferiores a 3% de MO o contenidos superiores a 50% de arena son potencialmente vulnerables a la degradación y pérdida de estructura.

10. El uso de rastras en renovación de praderas en suelos de textura liviana causó mayor pérdida de materia orgánica (63%) y de macroagregados (11%) que con el uso de cinceles (41 y 3% respectivamente). En texturas pesadas el uso de cincel mantiene estable los macroagregados y aumenta la materia orgánica, mientras las rastras reducen la MO y MAG en un 12 y 14% respectivamente en la profundidad de 0 a 5 cm.
11. La resistencia a la penetración (REPE) en suelos de sabana alta sin disturbar fueron más bajos en texturas franco arenosas que en texturas arcillosas.
12. La REPE entre 0 a 30 cm de profundidad en las depresiones de la Altillanura disectada fueron inferiores a  $10 \text{ kg/cm}^2$ , mientras en la Altillanura ondulada fue superior a  $10 \text{ kg/cm}^2$  en todos los sitios.
13. El uso del suelo en texturas franco arcillosas de la Altillanura lana con piña, rotación de cultivos, y caucho produjeron valores bajos de repe ( $<10 \text{ kg/cm}^2$ ) en los primeros 22 cm de profundidad; mientras en texturas franco arenosas el tabaco rubio, la palma africana y el *B. dictyoneura* mostraron valores superiores a  $10 \text{ kg/cm}^2$  excepto el cultivo de pino.

#### MICROBIOLOGIA DEL SUELO

1. Los suelos en general, independientemente del uso y paisaje, mostraron bajas poblaciones de bacterias y hongos y poblaciones aceptables de actinomicetos y micorrizas vesículo arbusculares (MVA). La mayor presencia de actinomicetos es indicativo de la baja calidad y lenta descomposición de la MO de estos suelos.
2. Entre los hongos se encontraron dominantes el Género *Penicillium* (76.8%) y *Trichoderma* (13.2%); en las bacterias el Género *Pseudomonas* (42.7%) y entre los hongos micorrícicos los Géneros *Glomus* y *Acaulospora*.
3. La población de hongos y actinomicetos fue superior entre 0 a 5 cm de profundidad, mientras las bacterias lo fueron entre 5 a 20 cm, posiblemente asociado a la capacidad de producción de antibióticos del *Penicillium* y actinomicetos como inhibidores del desarrollo bacterial.

#### COMPOSICION FLORISTICA Y BIOMASA FORRAJERA DE LAS SABANAS

1. En la Altillanura plana las texturas arcillosas mostraron mayor biomasa forrajera (2429 kg MS/ha) que las texturas franco arenosas (1732 kg MS/ha) asociado a un mayor aporte forrajero (AF) de las especies *Trachypogon vestitus* (68.5%) y *Schizachyrium hirtiflorum* (18.5%), mientras el AF en texturas F. arenosas estuvo asociado a las especies *Trachypogon vestitus* (35.5%), *Paspalum pectinatum* (34.5%) y *Thrasya petrosa* (9%).
2. La biomasa forrajera y composición florística en la Altillanura ondulada cambió con la pendiente. Los sitios bajos mostraron mayor biomasa forrajera (1440 kg MS/ha) que los

sitios altos (836 kg MS/ha). Las especies de mayor AF en los sitios bajos fueron *Trachypogon vestitus* (80%) y *Paspalum parviflorum* (17%) y en los sitios altos y medios el *Trachypogon vestitus* disminuyó a 56 y 66% y apareció la especie *Rynchospora podoesperma* con AF de 11.5 y 16% respectivamente.

3. La biomasa forrajera en la Altillanura disectada fue superior en partes bajas (4494 kg MS/ha) que en las partes altas (3382 kg MS/ha) asociado a cambios texturales, en MO y composición florística. En sitios bajos las especies de mayor AF fueron *Schizachyrium hirtiflorum* (44%) y *Andropogon selloanus* (18.5%) y en las partes altas y medias el *Trachypogon vestitus* fue el más importante con AF de 68.5 y 84% respectivamente.
4. Las mayores biomásas forrajeras se encontraron en las depresiones de la Altillanura disectada y las menores en la Altillanura ondulada. Los cambios en general se asocian a la dinámica de la humedad del suelo y contenidos de MO.

#### PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA

1. Praderas establecidas con arroz en suelos de textura pesada y liviana produjeron en tres años 4.5 y 1.8 veces más carne por hectárea que praderas establecidas en forma tradicional (121 kg carne/ha); adicionalmente se lograron producciones de arroz de sabana de 3400 y 2700 kg/ha que cubrieron el 100 por ciento de los costos de establecimiento de las praderas.
2. La recuperación de praderas degradadas de *Brachiaria decumbens* a través de arroz y de maíz permitió incrementar la producción de carne por hectárea en la estación lluviosa en tres y dos veces más y en la estación seca en 33 y cuatro veces más en comparación con la recuperación tradicional con rastras más fertilización fosfórica que produjo 124 y 9 kg de carne/ha en la estación lluviosa y seca respectivamente.

## VIII. PROPUESTAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

- 1) Para efectos de poder diseñar estrategias de manejo y uso de los suelos de la Altillanura del Departamento del Vichada, se recomienda hacer análisis de la distribución semanal de las lluvias, probabilidades de días secos y lluviosos continuos.
- 2) Igualmente se requiere conocer la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos de la Altillanura del Vichada, la densidad aparente y distribución del tamaño de las arenas y su relación con la dinámica de humedecimiento y secamiento del suelo.
- 3) Se recomienda hacer estudios sobre manejo de residuos de sabanas, pastos y de cosecha, sistemas de incorporación en función de la edad de corte, calidad, longitud o tamaño de desbrozado y sus efectos en las características químicas, físicas y biológicas del suelo para diferentes texturas y profundidades.
- 4) Se deben realizar estudios con diferentes tipos de fertilizante simples y compuestos con diferente grado de concentración, solubilidad y finura, para evaluar su manejo y dinámica en el perfil del suelo con diferentes dosis para conocer su respuesta en la producción de raíces, biomasa forrajera, rendimientos de cosecha y en las características químicas y físicas del suelo por textura y profundidad.
- 5) Estudios para evaluar el balance hídrico de los suelos de sabana de la altillanura y bajo diferentes usos relacionando precipitación, intensidad de lluvias, días acumulados de lluvia, días acumulados secos con la cantidad de agua volumétrica retenida en el perfil, agua perdida por escorrentía para determinar modelos de eficiencia hidrológica para diferentes texturas y pendientes.
- 6) Iniciar estrategias de investigación para implementar otros usos potenciales para los suelos de la Altillanura plana que le brinden a los productores e inversionistas nuevas alternativas para diversificar la producción, mejorar los ingresos y generar empleo regional.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- AMEZQUITA, C.E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. *In:* F. Silva, ed. Fertilidad de Suelos - Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. 137-154.
- AMEZQUITA, E., D. FRIESEN y J.I. SANZ. 1995. Indicadores de sostenibilidad: Parámetros edafoclimáticos y perfil cultural. IV Taller Internacional de Sistemas Agropastoriles para Suelos Acidos de las Sabanas. 25-26 Septiembre, 1995. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- AMEZQUITA, C.E; LONDOÑO, H. 1997. La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo *In:* F. Silva ed. Suelos Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. 137-154. *Suelos Ecuatoriales*. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. Colombia. Vol 27 pp:163-169.
- AMEZQUITA C., E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J.; VERA,R.R.; HOYOS, P.; MOLINA, D.L.; CHAVEZ, L.F. 1997. Características estructurales de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia sometidos a varios sistemas de manejo. *Suelos Ecuatoriales*. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. Colombia. Vol 27 pp:151-156.
- BURBANO, H.O, 1994. La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible *In:* F. Silva, ed. Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. pp:187-217
- CIAT, Informe Anual de Pastos Tropicales 1989. Documento de Trabajo No 69, 1990. Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 5-9 y 5-10.
- CIAT. Annual Report 1998. Overcoming soil degradation. Project PE2 . 81 p.
- CIAT. Annual Report 1999. Overcoming soil degradation through productivity enhancement and natural resource conservation . Project PE2 . 160 p.
- DECAËNS, T., LAVELLE, P., JIMENEZ, J.J., ESCOBAR,G. and RIPPSTEIN, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology* 30(4): 157-168.
- FASSBENDER, H.H. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a Ed. rev. Materiales educativos N0 81. San José, Costa Rica. IICA. 420 p.
- HIMAT. 1994. Calendario meteorológico 1994. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, 227 p.

- HOYOS, P; VERA, R.R; SANZ, J.I. 1992. Relaciones entre la textura y las características químicas en suelos Oxisoles de la Altillanura plana. Llanos Orientales de Colombia. *En*: Pizarro, E.A., Ed. CIAT. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Documento de Trabajo No 117. 1a Reunión de Sabanas, 23-26 de Noviembre de 1992. Brasilia. Brasil. Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp.465-472.
- LAL, R. 1985. Surface soil degradation and management strategies for sustained productivity in the tropics. IBSRAM Proceedings. No 3. pp:167-177.
- RANGEL, A.F. 1996. Efecto de la lombriz *Martiodrillus carimaguensis* Jimenez y Moreno en la dinámica del nitrógeno de un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. (sin publicar)
- TISDALL, J.M. 1996. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. *In*: Structure and organic matter storage in agricultural soils. eds. M. Carter y B. Stewart. Lewis Publishers, pp.57-97.

## X. COMENTARIOS FINALES

### LOGRO DE OBJETIVOS

El proyecto alcanzó los objetivos específicos planteados, logrando además mediciones adicionales que permitieron en su conjunto una mayor comprensión de las características de los suelos de la Altillanura por textura y la determinación de niveles críticos en una primera aproximación. Este conocimiento junto con la investigación institucional permitirá generar nuevos conceptos para la elaboración de arboles de decisiones en relación al uso y manejo de los suelos, que servirán como herramientas de apoyo para los entes de planeación, transferencia y extensión.

Fue fundamental para el logro de los objetivos propuestos los recursos de cofinanciación del PRONATTA y el trabajo coordinado interinstitucional e interdisciplinario durante la ejecución y desarrollo del proyecto.

### SOCIALIZACION DEL CONOCIMIENTO

Los resultados del proyecto fueron socializados en tres eventos:

1. Dos artículos científicos presentados en el IX Congreso Colombiano De La Ciencia Del Suelo celebrado en Paipa (Boyacá) el 23 de Octubre de 1998
  - Relaciones entre la infiltración de agua en el suelo y algunas propiedades físicas en las sabanas de la Altillanura Colombiana.  
*Phanor Hoyos, Edgar Amézquita, Richard J. Thomas, Raúl R. Vera, Diego L. Molina y Edgar F. Almanza.*
  - Efecto del sistema y uso de la tierra en la distribución de los agregados en suelos de la Altillanura Colombiana.  
*Phanor Hoyos, Edgar Amézquita, Richard J. Thomas, Raúl R. Vera y Diego L. Molina.*
2. Se realizó una presentación de resultados en las instalaciones del ICA en Pto López, el día 31 de Julio de 1999 dirigida a productores, asistentes técnicos particulares, gremios e instituciones.
3. Se presentó un seminario en las instalaciones del CIAT en Palmira el día 9 de Septiembre de 1999 dirigido al personal científico, asociados y asistentes de investigación, estudiantes de pregrado y posgrado y personal técnico.