

**EVALUACIÓN DE ACTIVIDAD DE FOSFATASAS Y DESHIDROGENASAS POR  
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZAS EN SUELOS CULTIVADOS CON  
MAÍZ DULCE *Zea mays L.***

**MAGDA CECILIA NARVAEZ CASTILLO**

**Código: 7006006**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
POSGRADO  
Palmira, 2008**

**EVALUACIÓN DE ACTIVIDAD DE FOSFATASAS Y DESHIDROGENASAS POR  
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZAS EN SUELOS CULTIVADOS CON  
MAÍZ DULCE *Zea mays L.***

**MAGDA CECILIA NARVAEZ CASTILLO**

**Código: 7006006**

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en **CIENCIAS AGRARIAS**  
**ÉNFASIS SUELOS**

DIRIGIDO POR:

**Doctora: MARINA SÁNCHEZ DE PRAGER**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**POSGRADO**  
**Palmira, 2008**

**“La facultad y los jurados de la tesis  
no se harán responsables de las  
Ideas emitidas por el autor”  
Artículo 24, resolución 04 de 1974**

*Dios nos guía al mostrarnos el camino,  
Sólo existe la esperanza de que él nunca nos va abandonar  
Él sabe el sacrificio y el esfuerzo que uno emprende cuando se desea avanzar  
En busca de un sueño y deseo de triunfar*

***A mis padres Isabel y José por su amor, tolerancia, sacrificio y comprensión.***

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más sentidos agradecimientos:

Dra. Marina Sánchez de Prager por su orientación, paciencia y por darme la mano cuando más lo necesitaba.

Al Dr. Juan Carlos Menjivar Flores por su apoyo incondicional y sus valiosos aportes.

Al señor Henry Ledesma y Yury Peralta por su colaboración en la consecución de los suelos estudiados.

Al profesor Carlos Escobar Chalarca por su colaboración en la clasificación de los suelos.

A los señores, Luis H. Lotero, Pablo Iván Gallo y Miguel Beltrán por su paciencia, apoyo y su grata colaboración.

Al laboratorio de Fisiología Vegetal por brindarme su confianza y su valiosa colaboración

A mis amigos: Chucho, Jorge, Andrés, Hernando, Clever, Adriana, Francisco, Sandra, Diego, Johana, Dayana y demás compañeros por hacer del posgrado una aventura de formación de la vida.

A todos y cada uno Mil Gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 GENERAL .....	18
2.1.2 Objetivos específicos.....	18
3. MARCO DE REFERENCIA .....	19
3.1 LAS VINAZAS .....	19
3.1.1 Composición Química de la Vinaza.....	19
3.1.2 Compuestos Orgánicos en Vinaza .....	22
3.1.3 Investigaciones sobre efectos de la aplicación de vinazas .....	23
3.2 ENZIMAS DEL SUELO .....	28
3.2.1 Los Enzimas.....	28
3.2.2 Enzimas en el suelo .....	31
3.3 PLANTA OBJETO DE ESTUDIO .....	40
3.3.1 Maíz Dulce ( <i>Zea mays</i> L.) .....	40
3.3.2 Caracterización Biológica .....	40
3.3.3 Características Genéticas .....	41
3.3.4 Algunos Estudios.....	41
4.MATERIALES Y MÉTODOS .....	44
4.1 LOCALIZACIÓN .....	44
4.2 HIPÓTESIS .....	45
4.3 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO .....	45
4.3.1 Recolección de las muestras de suelo .....	46
4.3.2 Ensayo de invernadero .....	46
4.3.2.1 Muestreo .....	49
4.3.2.2 Variables evaluadas .....	50

❖ Evaluación de Fosfatasas ácidas y alcalinas (Fosfomonoesterasas) según el método de Tabatabai y Bremner (1969) modificado por Yoshioka (2005) y Bolaños (2006).....	50
❖ Evaluación de la Actividad Deshidrogenasa del Suelo por el método de Von Mersi y Schinner (1991) modificado por Camiña <i>et al.</i> (1998) citados por Trasar <i>et al.</i> , 2003 .....	53
4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	55
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA VINAZA.....	57
5.2 VARIACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS.....	58
5.2.1 Suelo de Florida .....	58
5.2.2 Suelo de Manuelita.....	62
5.3 VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS.....	66
5.3.1 Suelo de Florida .....	66
5.3.2 Suelo de Manuelita.....	68
5.4 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO.....	69
5.4.1 Fosfatasas.....	69
5.4.2 Deshidrogenasas .....	74
5.5 ACUMULACIÓN DE BIOMASA.....	77
5.6 CORRELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS y QUÍMICAS DE LOS SUELOS Y LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.....	78
5.7 DISCUSIÓN GENERAL .....	78
6 CONCLUSIONES .....	86
7 RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA .....	88
ANEXOS .....	98

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición química de las vinazas de Brasil.....	20
<b>Tabla 4.</b> Descripción de los tratamientos.....	46
<b>Tabla 5.</b> Descripción detallada de las dosis de las diferentes fuentes de potasio, fósforo y nitrógeno para cada unidad experimental .....	48
<b>Tabla 6.</b> Descripción de las variables de respuesta evaluadas en los suelos en estudio y metodología utilizada y época de muestreo.....	50
<b>Tabla 7.</b> Estándares de trabajo utilizados para la estimación de fosfatasas alcalinas y ácidas .....	52
<b>Tabla 9.</b> Cambios en las propiedades químicas del suelo de Florida entre épocas de muestreo .....	59
<b>Tabla 10.</b> Cambios en las propiedades químicas del suelo de Manuelita entre épocas de muestreo.....	63
<b>Tabla 11.</b> Acumulación de biomasa seca en cultivos de maíz dulce en el suelo de Florida y Manuelita sometidos a diferentes fuentes de potasio.....	77

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelo de acción enzimática: Modelo llave cerradura de Fischer.....	29
<b>Figura 2.</b> Localización geográfica de los sitios de estudio. ....	44
<b>Figura 3.</b> Muestreo de suelos para actividad enzimática. ....	49
<b>Figura 4.</b> Curva de calibración para estimar las fosfatasas alcalinas y ácidas:.....	52
<b>Figura 5.</b> Curva de calibración para estimar el contenido de Deshidrogenasas: ..	55
<b>Figura 6.</b> Actividad de fosfatasas en los suelos de Manuelita y Florida .....	69
<b>Figura 7.</b> Actividad de fosfatasas alcalinas para cada suelo. ....	70
<b>Figura 8.</b> Actividad de las fosfatasas alcalinas en los suelos de Florida y Manuelita a través del tiempo. ....	71
<b>Figura 9.</b> Actividad de fosfatasas ácidas para cada suelo. ....	72
<b>Figura 10.</b> Actividad de las fosfatasas ácidas en los suelos de Florida y Manuelita a través del tiempo. ....	73
<b>Figura 11.</b> Actividad de Deshidrogenasas para los suelos evaluados .....	74
<b>Figura 12.</b> Actividad de las deshidrogenasas para cada suelo .....	75
<b>Figura 13.</b> Actividad de las deshidrogenasas en los suelos de Florida y Manuelita a través del tiempo. ....	76
<b>Figura 14.</b> Perfil del suelo de Florida.....	99
<b>Figura 15.</b> Perfil del suelo de Manuelita .....	101

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación de los enzimas .....	30
<b>Cuadro 2.</b> Arreglo experimental de los diferentes tratamientos.....	47

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Descripción del suelo de Florida .....	99
<b>Anexo 2.</b> Descripción del suelo de Manuelita .....	101
<b>Anexo 3.</b> Diagrama del proceso metodológico para determinar fosfatasa .....	103
<b>Anexo 4.</b> Diagrama del proceso metodológico para determinar deshidrogenasas ... .....	104
<b>Anexo 5.</b> ANDEVA realizado para la variación entre muestreos de las propiedades químicas en el suelo Florida.....	105
<b>Anexo 6.</b> ANDEVA realizado para las propiedades químicas en el último muestreo para el suelo Florida.....	108
<b>Anexo 7.</b> ANDEVA realizado para la variación entre muestreos de las propiedades químicas en el suelo Manuelita .....	110
<b>Anexo 8.</b> ANDEVA realizado para las propiedades químicas en el último muestreo para el suelo Manuelita .....	113
<b>Anexo 9.</b> Cambios en las propiedades físicas por efecto de la aplicación de cuatro fuentes de potasio en el suelo Florida.....	115
<b>Anexo 10.</b> ANDEVA realizado para las propiedades físicas en el último muestreo para el suelo de Florida.....	116
<b>Anexo 11.</b> Cambios en las propiedades físicas por efecto de la aplicación de cuatro fuentes de potasio en el suelo Manuelita .....	117
<b>Anexo 12.</b> ANDEVA realizado para las propiedades físicas en el último muestreo para el suelo de Manuelita .....	118
<b>Anexo 13.</b> ANDEVA realizado para actividad enzimática en el suelo de Florida	119
<b>Anexo 14.</b> ANDEVA para actividad enzimática en el suelo de Manuelita .....	120
<b>Anexo 15.</b> ANDEVA para actividad enzimática por muestreos en el suelo Florida .....	121

**Anexo 16.** ANDEVA para actividad enzimática por muestreos en el suelo  
Manuelita .....123

## RESUMEN

La vinaza es un residuo resultante en el proceso de la producción de etanol, con potencialidades de fertilizante por su contenido de potasio. Sin embargo, presenta riesgos ambientales para las fuentes de agua por su alta demanda bioquímica de oxígeno. Las investigaciones sobre vinazas se han dirigido a los cambios fisicoquímicos que ocasiona en el suelo y escasamente a efectos en actividad biológica. Se realizó un experimento en el Invernadero de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira donde se investigó el efecto de la aplicación de vinazas sobre la actividad de los enzimas fosfatasas y deshidrogenasas y la biomasa vegetal, en dos suelos del Valle de Cauca, localizados en Florida y en el Ingenio Manuelita (Palmira), clasificados como Typic Argiudoll con intrusiones Entic Dystropept y Fluventic Haplustoll, respectivamente, sembrados con maíz dulce (*Zea mays* L.). Se aplicaron 4 tratamientos: Vinaza, KCl y en proporciones de 50:50 y 75:25. Durante 76 días se estimaron algunas propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos, antes de la aplicación de los tratamientos y en diferentes estados de desarrollo del cultivo. Se evaluaron la densidad aparente, la textura, la estabilidad de agregados, la porosidad total, el pH, la CIC, el porcentaje de materia orgánica, macro y micronutrientes, el fósforo, las fosfatasas alcalinas y ácidas, las deshidrogenasas y la biomasa seca. Los análisis estadísticos indicaron que el pH, el K, el B y la relación Ca+Mg/K fueron afectados significativamente por los tratamientos y su respuesta varió de acuerdo con el tipo de suelo. En ambos suelos, el pH y la relación Ca + Mg/K disminuyeron significativamente, mientras que los contenidos de K y B se incrementaron. En el suelo de Florida, el P y el Cu aumentaron y en Manuelita el Na y el Fe se incrementaron sin alcanzar niveles tóxicos. El Fe se incrementó significativamente con la aplicación de vinaza. En Florida, la densidad aparente disminuyó y en Manuelita se incrementó, disminuyendo la porosidad y el movimiento del agua en el suelo. Las fosfatasas ácidas presentaron su máxima actividad a los 38 días después de siembra (DDS) del maíz y no hubo diferencias entre los suelos. Las fosfatasas alcalinas se incrementaron a los 10 DDS y fueron mayores en Manuelita. La mayor actividad de deshidrogenasas ocurrió en el suelo de Florida, esta enzima mostró la existencia de problemas de aireación y de actividad metabólica en el suelo de Manuelita. La biomasa vegetal (parte aérea) fue significativamente mayor en el suelo de Florida. Los resultados señalan la existencia de respuestas diferentes dependiendo del tipo de suelo y la importancia de estudiar las particularidades de la respuesta de los suelos a la aplicación de la vinaza.

**Palabras claves:** Fosfatasas, deshidrogenasas, vinaza, Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll, *Zea mays* L.

## SUMMARY

The vinasse is a residual that result from the ethanol production system which have potential as fertilizer due to its K content. However, it presents environmental risks for water sources because of its high biochemical demand of oxygen. Researches in vinasse have been focused mainly on the effect in the physical and chemical changes in soil but a little on the effect in the soil biological activity. An experimental under green house conditions in the Universidad Nacional of Colombia at Palmira to evaluate the effect of application of vinasse on the activity of the enzymes phosphatases and deshydrogenases and also in the vegetal biomass of sweet corn (*Zea Maiz L.*) in two soil of the Valle of Cauca, Colombia in the localities of Florida and Ingenio Manuelita at Palmira was carried out. The soils were classified as Typic Argiudoll Entic Dystropept and Fluventic Haplustoll respectively. Four treatments were applied: Vinasse; KCl, in proportions of 50:50 and 75:25. During 76 days, some physical, chemical and biological properties before treatment application and in different development stages of the crop were evaluated. Apparent density, soil texture, stability of soil aggregated soil, total porosity, pH, CIC, percentage of organic matter soil, macro and micronutrients, acid and alkaline phosphatases and the dehydrogenases were determined. The statistical analysis showed that in soils, pH, K, B and the relationship Ca + Mg/K decreased significantly. On the other hand, the K and B content were increased. In the soil of Florida, the P and Cu content increased. In the soil of Manuelita, Na and Fe increased without reach toxic levels. Iron was increased significantly with vinasse application. In the soil of Florida, the apparent density decreased. On the other hand, in the soil of Manuelita the apparent density was increased and decreasing porosity and water movement in the soil profile. Acid phosphatases showed their maximum biological activity at 38 days after corn sowing and there was a not difference between the studied soils. On the other hand, the alkaline phosphatases showed their maximum biological activity at 10 days after sowing and were higher in the Manuelita soil. The higher biological activity of the dehydrogenases was observed in the soil of Florida, which could indicate that there were problems in aeration and metabolic activity in the soil of Manuelita. Vegetal biomass (shoot) was significantly higher in the soil of Florida. These results indicated that exist different responses according to the soil type and that, it is important to study the peculiarity of the soil response to the application of vinasse

Key words: phosphatases, dehydrogenases, vinasse, typic Argiudoll, Fluventic Hasplustoll, *Zea mays L.*

**EVALUACIÓN DE ACTIVIDAD DE FOSFATASAS Y DESHIDROGENASAS POR  
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ  
DULCE *Zea mays* L<sup>1</sup>**

**Magda Cecilia Narváez Castillo<sup>2</sup>**

**1. INTRODUCCIÓN**

Las vinazas son el principal sub-producto de la elaboración de alcohol, su composición es variable y depende de la materia prima usada en el proceso de fermentación. En general es de pH ácido y rica en carbono orgánico y potasio, algunos elementos como el calcio, magnesio, azufre y sodio se encuentran en moderadas concentraciones, los micronutrientes y el fósforo son bajos. Normalmente está siendo usada como enmienda por los elevados contenidos de potasio, sin embargo, su elevada DBO (demanda bioquímica de oxígeno) hace que sea altamente contaminante en los cuerpos de agua (Quintero, 2004; Subiros y Molina, 2002)

Los pocos estudios realizados alrededor de la vinaza y su posible uso como fuente de potasio han sido dirigidos a la evaluación de las propiedades químicas, físicas, productividad del cultivo donde se aplica, y escasamente a cambios en propiedades biológicas del suelo. En este sentido la literatura registra que se han

---

<sup>1</sup> Investigación se realizada en el marco del Programa de Investigación en Uso y Manejo de Suelos y Aguas con énfasis en de degradación de suelos.

<sup>2</sup> Química, candidata a Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

encontrado variaciones de pH, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, cambios en el ciclo del nitrógeno (fijación de N<sub>2</sub>, desnitrificación y nitrificación), densidad aparente y estabilidad estructural (Camargo *et al.*, 1983)

La producción de la vinaza se ha incrementado en la medida que han aumentado las plantas productoras de etanol carburante en el Valle del Cauca. Para el año 2006 se estimó la producción de vinaza fue en 428.295 m<sup>3</sup>/año en concentraciones que van desde 22 a 55% de sólidos totales (Quintero, 2007). Ante la creciente oferta de la vinaza se ha planteado la necesidad de investigaciones que guíen en su posible uso como fertilizante; para ello se propone recurrir a indicadores de salud y calidad de suelo que pueden medirse en cortos periodos de tiempo.

Los enzimas son variables que dan cuenta de las reacciones bioquímicas que suceden en el suelo están estrechamente relacionadas con las propiedades físicas, químicas y biológicas y son sensibles a los cambios generados por las practicas de manejo. Las actividades enzimáticas ayudan a monitorear el funcionamiento del suelo respondiendo a la necesidad de entender los efectos positivos o negativos e interacciones de los procesos que suceden dentro de esta matriz (Cerón y Melgarejo, 2005).

Los ciclos de los nutrientes en el suelo implican una serie de reacciones bioquímicas, químicas y fisicoquímicas. Está implícita la acción que ejercen los microorganismos, raíces y animales del suelo. Todas estas reacciones son mediadas por enzimas, que son proteínas catalizadoras por su alto poder de activación específico, siendo específicas para cada sustrato (Tabatabai, 1994).

Los enzimas del suelo pueden proceder tanto de microorganismos como de las plantas y animales, algunas de estos se encuentran en células vivas como las

deshidrogenasas ó pueden ser extracelulares como las fosfatasas. Las fosfatasas y deshidrogenasas han sido las más estudiadas fundamentalmente por las funciones que desempeñan en la degradación de la materia orgánica y en el ciclo de fósforo respectivamente.

Así, la actividad de las deshidrogenasas es considerada como indicador del metabolismo oxidativo en suelos y por ende de la actividad microbiana (Skujins, 1973 citado por Quilchano y Marañón, 2002). Las fosfatasas participan en la mineralización del P orgánico y pueden catalizar la hidrólisis de ésteres y de anhídridos de  $H_3PO_4$ , de ahí su importancia en la nutrición de plantas (Tabatabai, 1994).

Todas las medidas realizadas sobre las actividades enzimáticas en general se consideran medidas potenciales, ya que se miden "in Vitro" bajo condiciones óptimas de temperatura y pH. Sin embargo, la información que ofrecen permite ampliar los conocimientos sobre los procesos bioquímicos que se llevan a cabo en el suelo.

Con base en lo expuesto, en el presente trabajo de investigación se planteó evaluar, bajo condiciones controladas, el efecto de la vinaza sobre la actividad de los enzimas fosfatasas y deshidrogenasas como indicadores de calidad del suelo, esta investigación fue financiada por el programa de investigación en uso y manejo de suelos y aguas con énfasis en degradación de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

Evaluar el efecto de la aplicación de vinaza y cloruro de potasio sobre la actividad de fosfatasas y deshidrogenasas en dos suelos del Valle del Cauca sembrados con maíz dulce (*Zea mays* L.)

#### **2.1.2 Objetivos específicos**

Evaluar las propiedades física y química de los suelos a analizar.

Evaluar la actividad de fosfatasas y deshidrogenasas presentes en el suelo antes y después de la aplicación de vinaza y cloruro de potasio.

Correlacionar la actividad de estas enzimas con las propiedades físicas y químicas de los suelos analizados.

Relacionar el efecto de las diferentes dosis de vinaza y cloruro de potasio sobre algunos componentes del rendimiento.

### **3. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1 LAS VINAZAS**

La vinaza es un material líquido resultante de la producción de etanol, ya sea por destilación de la melaza fermentada o de la fermentación directa de los jugos de la caña de azúcar. Está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales (García y Rojas, 2006). Este subproducto se caracteriza por ser una suspensión marrón, de naturaleza ácida, generada a temperatura aproximada de 107 °C y de olor desagradable. A partir de una tonelada de caña procesada se producen aproximadamente 800 litros de vinaza (Korndörfer *et al.*, 2004).

En el año 2004 en el Valle del Cauca se estimaba que la producción de alcohol para el año 2005 sería cerca de 1350000 litros por día que generarían vinazas con contenidos de sólidos totales entre 32,5 y 55% en cantidades aproximadas a 1894500 litros por día en el Valle del Cauca (Quintero, 2004). En el año 2006 la producción en las destilerías del Valle de Cauca fue de 939000 litros de alcohol por día y 428295 m<sup>3</sup> de vinaza por año en concentraciones de 22 a 60% de sólidos totales (Cenicaña 2006 citado por CIAT - CLAYUCA, 2007).

##### **3.1.1 Composición Química de la Vinaza**

La composición química de la vinaza es muy variable y depende de las características de la materia prima, del sustrato, del tipo y la eficiencia de fermentación y destilación, como también de la variedad y la maduración de la caña (García y Rojas, 2006). La materia orgánica es el principal constituyente y

entre los minerales, el potasio, en conjunto con el calcio, son los más abundantes, es rica también en nitrógeno, azufre y normalmente pobre en fósforo (Tabla 1.).

**Tabla 1.** Composición química de las vinazas de Brasil

Composición	Concentración
N	0.33 – 0.48 Kg/m <sup>3</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09 – 0.61 Kg/m <sup>3</sup>
K <sub>2</sub> O	2.10 – 3.40 Kg/m <sup>3</sup>
CaO	0.57 – 1.46 Kg/m <sup>3</sup>
MgO	0.33 – 0.58 Kg/m <sup>3</sup>
SO <sub>4</sub>	1.50 Kg/m <sup>3</sup>
Mat. Orgánica	19.1 – 45.1 Kg/m <sup>3</sup>
Cu	2 – 57 ppm
Zn	3 – 57ppm
pH	3-5
Relación C/N	15

Fuente: Adaptación de Korndörfer & Anderson, (1997)

Cuando se parte de la melaza se genera vinaza con mayores contenidos de materia orgánica y de elementos mayores, es menor cuando procede de jugo o de la mezcla de jugo y melaza (Gloria y Orlando, 1983).

En cuanto a las vinazas producidas en las destilerías del Valle del Cauca, se presentan altos contenidos de materia orgánica, potasio, azufre, calcio y de magnesio, además tiene pH ácido, elevada concentración electrolítica y la relación C/N indica que puede presentar inconvenientes en su degradación en el suelo (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características de las vinazas al 60%.

PARÁMETRO	VINAZA
Sólidos totales (%)	60
Materia Orgánica (%)	46
Carbono Orgánico (%)	18
Nitrógeno (%)	0.95
Fósforo (%)	0.017
Potasio (%)	3.32
Ca (%)	0.36
Mg (%)	0.40
S (%)	0.86
Micronutrientes (mg*Kg <sup>-1</sup> )	
Manganeso	43
Cobre	10
Zinc	19
Boro	6
Densidad (kg*m <sup>-3</sup> )	1300
pH	4.5
Relación C/N	19
Conductividad eléctrica (dS*m <sup>-1</sup> )	17
Viscosidad (cPs)	390

Fuente: Lotero, L. (2006)

Con respecto al potasio y según la información obtenida en los ingenios azucareros, los contenidos medios de K<sub>2</sub>O esperados son de 14298 toneladas de K<sub>2</sub>O por año. En el año 2003 se estimó que la demanda de potasio por el cultivo de la caña de azúcar en los suelos de la parte plana del Valle geográfico del río Cauca fue de 8550 toneladas de K<sub>2</sub>O por año (Quintero, 2003) en el año 2006 el aporte fue de 10679 toneladas de K<sub>2</sub>O año (Quintero, 2007). Debido a la gran oferta de este nutriente en la vinaza se considera potencial para ser aplicado al suelo como fertilizante en el cultivo de la caña de azúcar (Rao, 1983; Quintero, 2004).

Sin embargo, su elevada flora microbiológica, hace que presente elevados índices de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), por lo que se considera material contaminante cuando se vierte a las fuentes de agua (Orlando *et al.*, 1983, Stupiello *et al.*, 1997 citados por Subiros y Molina, 1992). Cuando se aplica al

suelo, se disminuye su potencial contaminante debido al poder “buffer” de los suelos (Korndörfer *et al.*, 2004).

### 3.1.2 Compuestos Orgánicos en Vinaza

Dada su potencialidad como bio-abono es importante conocer los componentes orgánicos que posee, entre ellos están alcoholes, aldehídos, cetonas, esteroides, ácidos y azúcares. También se pueden distinguir compuestos volátiles tales como benzaldehído, ácido benzoico, etil palmitato, 2-acetilpirrol, alcohol 2-feniletílico, alcohol furfurílico, ácido acético, ácido fórmico, 1-3-butanodiol, acetona, etanol, entre otros (Morales, 2004). En la Tabla 3 se relacionan los principales compuestos orgánicos presentes en la vinaza concentrada.

**Tabla 3.** Composición orgánica de vinaza concentrada\*

<b>Compuestos</b>	<b>Concentración</b>
<b>No volátiles</b>	<b>(%)</b>
2,3 Butanodiol	0.01
2- metil- 1,3- butanodiol	0.20
Glicerol	2.70
Sorbitol	1.40
Ácido Láctico	1.30
Ácido Succínico	0.70
Ácido málico	0.23
Ácido Aspártico	0.05
Ácido Aconítico	1.80
Ácido Cítrico	0.80
Ácido Quínico	0.70
Sacarosa	0.20
Trehalosa	0.30
Fructosa + glucosa	1.30
Ácido 2.4-dihidroxipentanedioico	0.71
<b>Fenólicos</b>	<b>ppm</b>
Ácido Piroglutámico	165
Ácido Itacónico	93
Ácido Fumárico	93
3-metoxi-4-hidroxifenilglicerol	54
Ácido p-hidroxi-benzoico	48

Fuente (Morales, 2000)

\* Para la determinación de éstos compuestos se concentró la Vinaza hasta 64.8 grados Brix, valor aproximadamente equivalente a un porcentaje de sólidos totales de 67% m/m.

Estos compuestos tienen diferentes orígenes: provienen de la melaza, de la fermentación del alcohol o se producen por degradación térmica en el proceso de destilación del vino obtenido en la etapa de fermentación alcohólica (García y Rojas, 2006).

Los ácidos que contiene la vinaza se caracterizan, por su bajo peso molecular y su posibilidad de generar enlaces coordinados con los iones metálicos, es decir tienen carácter secuestrante y pueden ser usados como agentes quelatantes de cationes divalentes y trivalentes de gran utilidad en la agricultura (Berón, 2006).

### **3.1.3 Investigaciones sobre efectos de la aplicación de vinazas**

Se ha investigado que la aplicación de las vinazas al suelo genera cambios en algunas de sus características físicas, químicas y biológicas. Dentro de las propiedades en que se presentan cambios están: pH, disponibilidad de nutrientes principalmente K, cambios en la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y la actividad biológica (Camargo *et al.*, 1983, Quintero, 2004, Lotero, 2006).

Se ha registrado que la vinaza genera alteraciones temporales en los procesos biológicos y químicos, tales como: descomposición de la materia orgánica, nitrificación, desnitrificación, fijación de N<sub>2</sub> atmosférico y aumento del pH (Lima, 1980). Además, las poblaciones microbianas del suelo fueron estudiadas “in vitro” encontrándose aumentos temporales en las poblaciones de hongos y bacterias e inhibición de la población de actinomicetos (e inhibición pasajera de la población fijadora de N<sub>2</sub>). Estos cambios se explican por la incorporación de carbono y nitrógeno asimilable que proporcionan energía a los microorganismos y aumento en la velocidad de crecimiento de la masa microbiana (Neves *et al.*, 1983).

Para el crecimiento de la masa microbiana se requiere una fuente adicional de N, lo que puede llevar a una “inmovilización temporal” del nitrógeno del suelo o del

aplicado. La actividad microbiana también acarrea pérdidas de carbono orgánico de la vinaza, lo que lleva a creer que no se puede esperar efectos duraderos en el aumento de la materia orgánica por la aplicación de vinaza (Korndörfer *et al.*, 2004).

Sin embargo, ensayos realizados para evaluar la dinámica de mineralización del carbono y nitrógeno en dos suelos, indican que a mayor dosis de vinaza mayor fue el desprendimiento de CO<sub>2</sub>, el coeficiente de mineralización total y el índice de nitrificación, indicando el efecto positivo de este producto aplicado a los suelos sobre la actividad biológica medida en términos de catabolismo (Guerrero *et al.*, 2004a).

Evaluaciones realizadas con vinaza de remolacha y residuos de semillas de algodón en fresco y compostados en proporciones 1:1 en dos suelos Typic Xerofluvent (Tejada *et al.*, 2006 y Tejada y Gonzáles, 2006) y Xerollic Calciorthid (Tejada *et al.*, 2007) en el Valle Guadalquivir Andalucía España, por un periodo de cuatro años en cultivos de trigo indican que la aplicación de vinaza en fresco disminuyó la estabilidad estructural y la densidad aparente del primer suelo, mientras que para el segundo, ésta aumentó. También se presentaron incrementos en el porcentaje de sodio intercambiable.

En esta misma investigación, con respecto a las propiedades biológicas se evidenciaron bajos contenidos de biomasa microbiana, respiración microbiológica y actividad enzimática, debido al probable incremento de cationes monovalentes como el sodio al igual que el contenido de los ácidos fúlvicos que desestabilizan la estructura del suelo.

También, cuando la vinaza fue compostada con residuos de las semillas de algodón el efecto fue positivo en todas las propiedades evaluadas. La estabilidad

de agregados aumentó, la densidad aparente disminuyó, las propiedades biológicas presentaron valores más elevados con respecto al suelo control.

Benke *et al.*, 1999 en un Ultisol, Caolinita pura y óxidos de hierro (sintéticos) evaluaron la capacidad para retener materia orgánica soluble (MOS) en una zona azucarera de la región del noreste del Brasil, a través de isothermas de adsorción, las cuales se realizaron de acuerdo a la cantidad de carbono orgánico soluble (COS) encontrado en el suelo y su simulación con aplicación de diferentes dosis de vinaza. Las isothermas de adsorción de MOS de la vinaza para los diferentes horizontes del Ultisol se incrementaron con la profundidad.

En este sentido la capacidad de adsorción de los horizontes se relacionó con ditionitas, citratos, carbonatos, materia orgánica nativa y contenido de arcilla. La concentración de carbono orgánico disuelto en los horizontes sugiere que estos suelos tienen baja retención de vinazas, mientras los óxidos de hierro sintetizados muestran cinco veces mayor capacidad de adsorción que la caolinita.

Estudios complementarios de desorción de COS en la caolinita fueron del 100% en comparación con los óxidos de hierro que presentaron un porcentaje de desorción entre 28 y 35%, indicando que la materia orgánica disuelta es más adsorbida por los óxidos de hierro que por la caolinita, siendo los óxidos los responsables de la adsorción en el suelo. Sin embargo, esta adsorción puede disminuir cuando hay presencia de cationes polivalentes como el aluminio.

Suresh *et al.*, 2002, en Nueva Delhi (India) evaluaron distintas fuentes y dosis de potasio entre ellas cloruro de potasio, sulfato de potasio y los efluentes de las destilerías ricos en potasio puros y oxidados con  $H_2O_2$  (utilizado para remover el carbono orgánico) en relación con la mineralización del carbono orgánico. Además encontraron que a concentraciones moderadas de las sales se favoreció la producción de  $CO_2$  ya que se estimuló el crecimiento y la actividad microbiana por

la disolución de carbono orgánico siendo más disponible para los microorganismos mientras que en concentraciones elevadas se disminuye el contenido de agua disponible y se incrementa al acumulación de iones tóxicos en los tejidos microbianos limitando así la hidratación, que implica la disminución en la actividad de los microorganismos.

En esta investigación la mineralización del carbono fue más alta con el sulfato de potasio que con el KCl, indicando que este proceso puede variar según el tipo de sal. Por su parte todas las concentraciones del efluente oxidado registraron altas tasas de mineralización de C, superiores a la de las sales. Este efecto puede ser debido al carbono orgánico disponible y a los contenidos de sales, presentes en el efluente disponible para los microorganismos.

La baja mineralización presentada con las sales (cloruro de potasio y sulfato de potasio) es debido a la escasa disponibilidad del carbono, por tanto el estrés generado en el suelo por altas dosis de sales puede ser mitigado con la adición de carbono orgánico. En este sentido los autores sugieren a la vinaza como un sustituto de la fertilización convencional por sus bondades en el contenido de carbono orgánico que estimulan la actividad microbiana.

En Colombia son escasas las investigaciones sobre el manejo y utilización de la vinaza usada como fertilizante. En estudios realizados por los ingenios Manuelita y Río Paila se encontró que por efecto de acumulación de vinaza durante 20 años variaron algunas propiedades químicas (pH, materia orgánica, Mg, Na, P y K), incrementando así las producciones de caña de azúcar. Además ésta es usada en el enriquecimiento o preparación de abonos orgánicos producidos a partir de residuos de cosecha, cachaza, ceniza proveniente del bagazo usado como combustible y lodos que aplicados al suelo formaran parte de los fertilizantes y mejorarán la fertilidad del suelo (Quintero, 2004).

Aunque la principal explotación agrícola del Valle del Cauca ha sido la caña de azúcar, aún se observan algunos cultivos de algodón, maíz y sorgo. Con respecto al maíz que es objeto de este estudio, Campos, 1988 citado por Montenegro, 2008, en Costa Rica provincia de Alajuela evaluó dosis de nitrógeno con tres dosis de vinaza, en tres épocas de aplicación y observó su efecto en algunas propiedades químicas del suelo. Con el uso de vinaza, hubo mayor porcentaje de germinación y el rendimiento en peso seco (Kg/Ha) se incrementó comparado con el fertilizante y el testigo.

Con respecto a las propiedades químicas se encontraron resultados coincidentes con Quintero (2004) en lo que respecta a incrementos en los contenidos de materia orgánica, pH, K, y Mg en el suelo. Los contenidos de Al, Ca y Mn, registrados al final del experimento, fueron menores a los medidos al inicio. Para el caso de P, Fe, Zn y CIC del suelo sembrado con maíz el abonamiento con vinaza no alteró significativamente sus contenidos.

Guerrero *et al.*, 2004a y 2004b, realizaron dos investigaciones sobre la aplicación de vinaza azucarera en relación con la mineralización de carbono y nitrógeno y la evolución de la fracción humificada. En el primer ensayo los resultados indicaron que a mayor dosis aplicada, mayor fue el índice de nitrificación y el coeficiente de mineralización total, involucrando mayor actividad microbiológica, este efecto se favoreció al llegar la relación C/N a 8.8 donde es mejor la descomposición por el elevado contenido de nitrógeno orgánico. El segundo ensayo se realizó con el fin de evaluar si la vinaza usada anteriormente puede potencializar el uso de rastrojos de cultivos anteriores y ayudar al proceso de humificación de los restos vegetales contribuyendo a la estabilización de la materia orgánica generada, facilitando así el proceso de mineralización del humus del suelo. En un suelo franco se observó la acción sinérgica de la vinaza y el rastrojo vegetal para el caso del extracto húmico total, para un suelo arcilloso el comportamiento fue positivo con la

combinación de rastrojo vegetal y vinaza, siendo el efecto mayor a medida que aumentó la dosis de vinaza.

Con respecto al contenido de ácidos húmicos, las altas dosis de vinazas no incrementaron el contenido de Carbono orgánico sin la aplicación de rastrojo en el suelo franco, mientras que en el arcilloso se incrementó el contenido de carbono sin la aplicación de paja. El contenido de ácidos fúlvicos se favoreció al aplicar dosis altas de vinaza con bajo contenido de paja y sin aplicación de vinaza. Para el suelo arcilloso el comportamiento fue similar, indicando que la adición de dosis crecientes de vinaza en general, incrementaba los contenidos de ácidos fúlvicos.

## **3.2 ENZIMAS DEL SUELO**

### **3.2.1 Los Enzimas**

Algunos enzimas son proteínas que actúan como catalizadores orgánicos, transformando sustancias orgánicas e inorgánicas sin experimentar cambios en sí. Los catalizadores disminuyen la energía de activación de las reacciones químicas y permiten que dichas reacciones se produzcan a temperaturas y presiones a las que normalmente no tendrían lugar (Coyne, 2000).

Los enzimas son elaborados por células vivas, pero pueden actuar independientemente de estas. Tienen la particularidad de ser específicas para los tipos de reacciones en las cuales participan. La especificidad de los enzimas frecuentemente está dada por la naturaleza de los grupos ligados a los enlaces susceptibles (Lehninger, 2004; Alef y Nannipieri, 1995).

En su mayoría los enzimas son moléculas proteicas, aunque hay estudios acerca de enzimas de naturaleza glucosídica y un pequeño grupo de moléculas catalíticas del ARN que se denominan ribosimas (Lehninger, 2004).

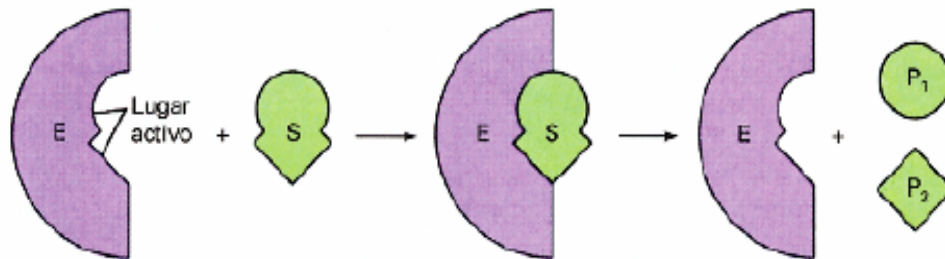
Los enzimas de naturaleza proteica están conformadas por aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos. Muchos de estos enzimas requieren la presencia de un ión metálico o cofactor o de algunas moléculas orgánicas para su funcionamiento (Coyne, 2000). Su composición química está basada en elementos como carbono (C), nitrógeno (N), oxígeno (O), hidrógeno (H) y azufre (S).

En una reacción catalizada por enzimas E, los reactivos se denominan sustratos (S), es decir, la sustancia sobre la cual actúa el enzima. El sustrato es modificado químicamente y se convierte en uno o más productos (P). Como esta reacción es reversible se expresa de la siguiente manera:



La especificidad de los enzimas se determina cuando las moléculas del sustrato se unen a un sitio específico en la superficie del enzima (sitio activo), donde sólo puede entrar un determinado sustrato (ni siquiera isómeros) y tiene lugar la catálisis (Raisman y González, 2004).

El enzima se encuentra en la misma forma química al comienzo y al final de la reacción (Figura 1).



**Figura 1.** Modelo de acción enzimática: Modelo llave cerradura de Fischer.



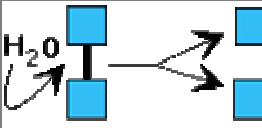
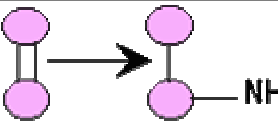
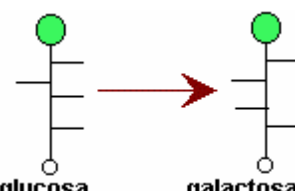
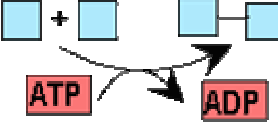
Fuente Lenhinger, 2004

Los enzimas por su poder catalítico incrementan la velocidad de las reacciones; se han encontrado velocidades de reacciones que van desde  $10^8$  hasta  $10^{20}$  veces

más rápida que las reacciones no catalizadas, para ello se requiere una localización exacta del sustrato en la proximidad y orientación apropiadas respecto al grupo catalítico del enzima para que de esta manera alcance con facilidad el estado de transición (Lehninger, 2004).

Los enzimas se han agrupado según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, 1979) y la Unión Internacional de Bioquímica, en seis clases principales que son: Oxidorreductasas, Transferasas, Hidrolasas, Liasas, Isomerasas y Liasas (Cuadro 1). Estas denominaciones corresponden a los sustratos en los cuales éstos ejercen (Raisman y González, 2004).

**Cuadro 1. Clasificación de los enzimas**

1. Óxido-Reductasas	2. Transferasas
<p>Reacciones de oxido-reducción: Si una molécula se reduce, tiene que haber otra que se oxide.</p> 	<p>Transferencia de grupos funcionales</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• grupos acilos</li> <li>• grupos aldehidos</li> <li>• grupos glucosilos</li> <li>• grupos fosfatos (quinasas)</li> </ul>
3. Hidrolasas	4. Liasas
<p>Reacciones de hidrólisis Transforman polimeros en monómeros. Actúan sobre:</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• enlace éster</li> <li>• enlace glucosídico</li> <li>• enlace peptídico</li> <li>• enlace C-N</li> </ul>	<p>Adición a los dobles enlaces</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre C y C</li> <li>• Entre C y N</li> <li>• Entre C y O</li> </ul>
5. Isomerasas	6. Ligasas
<p>Reacciones de isomerización</p>  <p>glucosa                      galactosa</p>	<p>Formación de enlaces, con aporte de ATP</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre C y C</li> <li>• Entre C y O</li> <li>• Entre C y S</li> </ul>

<http://enfenix.webcindario.com/biologia/molecula/enzimas.html>

### 3.2.2 Enzimas en el suelo

Los organismos y las plantas liberan enzimas al suelo por secreción y por lisis celular después de su muerte. Un bajo porcentaje de estas proteínas quedan inmovilizadas y estabilizadas en interacción con los diferentes componentes de la fase sólida del suelo, como arcillas, moléculas orgánicas y complejos órgano minerales (Joinvill *et al.*, 2004 citado por Cerón y Melgarejo, 2005)

En la actividad enzimática del suelo existen componentes intracelulares y extracelulares producidos por microorganismos como bacterias, hongos, protozoarios o de origen animal o vegetal, entre ellos, raíces, residuos de plantas, residuos de tracto digestivo de meso y macrofauna del suelo, (Gianfrenda y Bollag, 1996). La actividad de los enzimas en el suelo es resultado de actividades asociadas a varios componentes tanto bióticos como abióticos.

El funcionamiento de los ecosistemas y en especial el suelo no se puede entender correctamente sin la participación de los procesos enzimáticos (Overbeck, 1991 citado por Trasar *et al.*, 2003) ya que los enzimas determinan en gran parte, las transformaciones bioquímicas que en él se producen, mediando y catalizando procesos como la mineralización y ciclaje de nutrientes, descomposición y formación de la materia orgánica y descomposición de materiales xenobióticos (Acosta *et al.*, 2007).

Este tipo de sustancias han sido estudiadas desde hace 50 años; siendo más estudiadas las oxidoreductasas (en particular, deshidrogenasas, catalasas y peroxidasas) y las hidrolasas (sobre todo fosfatasas, proteasas y ureasas). Un menor número de estudios se ha realizado en los enzimas del tipo transferasas o liasas (Trasar *et al.*, 2003).

A través de su estudio se pueden monitorear cambios fisicoquímicos y biológicos porque ofrecen información sobre la capacidad potencial del suelo para llevar a cabo algunas reacciones específicas que son importantes en el ciclo de nutrientes en la descomposición de residuos orgánicos y en las condiciones redox del suelo (Trasar *et al.*, 1999; García y Hernández, 2000; Ros, 2000; Leirós *et al.*, 2000 citados por Trasar *et al.*, 2003).

Según Burbano (1989), Nannipieri y Landi (1999), los enzimas pueden encontrarse en el suelo como:

**Enzimas intracelulares:** su función se realiza en el interior del citoplasma de las células vivientes, metabólicamente activas, también enzimas inactivas asociadas con células viables pero no proliferantes como células vegetativas en reposo, endosporas bacterianas, esporas fungales, quistes de protozoarios y algunas semillas de plantas (Yoshioka, 2005) y asociados, a los residuos de la célula, después de la muerte de la misma, pero sin sufrir lisis.

**Enzimas extracelulares:** son libres y secretadas al medio externo por los organismos vivos, están unidas a células descompuestas, en reposo, que se han difundido fuera de las células muertas o que han sufrido lisis. Algunos de estos enzimas pueden haber desarrollado alguna función en la célula original, sin embargo, sobreviven por corto periodo de tiempo cuando son liberados en la fase acuosa del suelo (Hattori, 1973 citado por Lavelle y Spain 2001).

Estos son responsables de la mineralización de nutrientes y degradación de macromoléculas, como celulosa, hemicelulosa, lignina, polisacáridos, proteínas y lípidos, entre otras. También pueden ser inmovilizados sobre las arcillas y los coloides húmicos del suelo, por ejemplo las arcillas tipo 2:1 poseen alta afinidad por los enzimas sin limitar su actividad catalítica, y en los humatos los enzimas

mantienen su actividad por largos periodos de tiempo (Burns citado por Bolaños, 2006).

En el suelo se han detectado numerosos enzimas, pero se han evaluado sólo algunos, entre ellos fosfatasas ácidas y alcalinas, arilsulfatasa, celulasas y ureasas, deshidrogenasas, oxidoreductasas, transferasas y liasas (Sánchez, 2003; Yoshioka, 2005; Bolaños, 2006).

Las estimaciones de la actividad enzimática han sido utilizadas con diferentes propósitos en los estudios realizados sobre el tema: como indicadores de productividad, medida indirecta de la biomasa microbiana, para comparar efectos rizosférico, índice potencial del suelo para descomponer distintos materiales orgánicos, como indicadores de posible contaminación con metales pesados, pesticidas, etc., (Burns, 1982).

La actividad enzimática del suelo depende de procesos de síntesis complejos, persistencia, estabilización, regulación, comportamiento catalítico, de su localización intra y extracelular y ubicación en los agregados del suelo. Es por ello que alteraciones en los procesos biológicos, químicos y físicos como también cambios climáticos, prácticas agrícolas afectarán significativamente esta actividad.

La materia orgánica es la fuente alimenticia de los microorganismos por tanto se espera alta correlación entre ella y las poblaciones microbianas y actividad enzimática, aunque no siempre se pueda detectar (Bolaños, 2006). Algunos enzimas están asociados con la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo la cual, en general, disminuye con la profundidad y por ende la actividad también, como es el caso arilsulfatasas, ureasas, fosfatasas, amidas y L-asparaginasa que han sido estudiadas por Tabatabai, 1994, Bolaños, 2006 y Yoshioka, 2005.

El pH puede condicionar la actividad biológica y Bioquímica en el suelo, tal es el caso de fosfatasas ácidas que se ven beneficiadas a pH ácidos, mientras a pH básicos se favorecen las fosfatasas alcalinas. La humedad, temperatura, salinidad y el manejo agronómico son otros factores que alteran la actividad enzimática (Bolaños, 2006).

Algunos metales pesados que pueden ser producto de residuos de cosechas, industrias entre otros afectan las propiedades químicas, biológicas del suelo y la actividad enzimática.

### 3.2.2.1 Fosfatasas

El término fosfatasas se utiliza para designar de manera general a un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres y anhídridos del ácido fosfórico (Eivazi y Tabatabai, 1977 citado por Trasar *et al.*, 2003). Su nombre se debe al sustrato base con el sufijo “asa” y la Comisión de Enzimas de la Unión Internacional de Bioquímica clasificó a las fosfatasas de acuerdo al tipo de enlace y a los compuestos sobre los cuales actúan como:

- Fosfatasas que actúan sobre enlaces de tipo éster que a su vez se dividen en: monoésterfosfato hidrolasas, diésterfosfato hidrolasas, trifosfato monoéster hidrolasas, difosfato monoéster hidrolasas y triésterfosfato hidrolasas (Speir y Ross, 1978).
- Enzimas que actúan sobre anhídridos ácidos, en anhídridos que contengan grupos fosfato como por ejemplo, la *adenosin trifosfatasa* y la *pirofosfatasa* (Speir y Ross, 1978 citado por Trasar *et al.*, 2003).
- Enzimas que actúan sobre el enlace P-N, como la *fosfoamidasa* (Eivazi y Tabatabai, 1977 citado por Trasar *et al.*, 2003).
- Enzimas que actúan sobre enlaces C-N, como la *fosfonoacetato hidrolasa* (Trasar *et al.*, 2003).

En el grupo de las *Monoésterfosfato Hidrolasas* están las *fosfatasas alcalinas* y las fosfatasas ácidas conocidas como fosfomonoesterasa alcalina y fosfomonoesterasa ácida, que son dos enzimas inespecíficos que catalizan la hidrólisis de glicerofosfato y se diferencian por su pH óptimo de actuación. En este grupo se incluye además, las *nucleotidasas*, que catalizan la hidrólisis de diversos nucleótidos liberando una molécula de fosfato (Speir y Ross, 1978).

La Fosfatasa ácida puede estar presente en suelos con pH alrededor de 4 a 6.5 mientras que las alcalinas en un rango 9 a 10. Sin embargo, ellas pueden encontrarse simultáneamente en el suelo. (Speir and Ross, 1978). De acuerdo con Eivazi y Tabatabai, 1977 citado por Trasar *et al.*, 2003 las fosfatasas ácidas predominan en suelos ácidos y las fosfatasas alcalinas en suelos alcalinos. Además estas enzimas son significativamente afectadas por el pH, la disponibilidad de P, el contenido de la materia orgánica (Acosta *et al.*, 2007).

Las monoésterfosfato hidrolasas, especialmente las fitasas y las fosfomonoesterasas, son las fosfatasas más estudiadas debido en gran parte a los métodos de estimación y además porque 60% de fósforo orgánico que se ha identificado en el suelo corresponde a fosfatos de inositol (Halstead y McKercher, 1975 citado por Trasar *et al.*, 2003). En la transformación de este fósforo, los organismos desempeñan papel fundamental a través de la secreción de enzimas (Oberson *et al.*, 2001 citado por Bolaños, 2006).

Bolaños (2006) y Yoshioka (2006), registran a varios autores que sostienen que existen muchas formas de fósforo orgánico que difieren en su susceptibilidad a la mineralización, por consiguiente varía la biodisponibilidad para las plantas y los microorganismos. En este sentido las fosfatasas cumplen papel importante en las reacciones de hidrólisis del fósforo orgánico hasta fósforo inorgánico. En la mayoría de los suelos, la fracción de fósforo unido al material orgánico se

encuentra entre 30 y 70% (Borie y Rubio, 2003, Marscher, 1995 citados por Bolaños, 2006), el resto forma parte de los minerales del suelo.

La mayoría de las investigaciones de las fosfatasas en suelo, registran origen microbiano, aunque esta actividad es temporal y se disminuye con rapidez (Dick y Tabatabai, 1993). Sin embargo, la presencia de vegetación estimula la actividad microbiana y los vegetales liberan sus propias secreciones enzimáticas (Yoshioka, 2006).

La actividad de la fosfatasa aumenta en la rizosfera con la edad de la planta, comportamiento que se le atribuye al aporte gradual de la población microbiana en esta región de la raíz y al incremento del área superficial de raíces (Tarafdar y JungK, 1987 citados por Yoshioka, 2005)

En el suelo algunos niveles de fosfatasas son adsorbidos en la arcilla tipo 2:1 como montmorillonita y aumentan de 21 a 45% con la presencia de capas de OH - Al de 3 a 8 mili equivalentes de Al por gramo de suelo (Rao *et al.*, 2000 citados Yoshioka, 2005 y Bolaños, 2006).

En Colombia, González *et al.*, (2002) estudiaron la actividad de esterasas y fosfatasas ácidas y alcalinas en rizosfera de maracuyá bajo manejo agroecológico y convencional, encontrando mayor actividad en los primeros 15 cm de profundidad, en los primeros meses de desarrollo del cultivo, con manejo convencional y altos contenidos de materia orgánica y fósforo disponible en manejo agroecológico.

Se han publicado numerosos métodos para la estimación de la actividad fosfomonoesterasa del suelo que difieren en el sustrato, las condiciones de ensayo, el tiempo de incubación o los métodos de detección. En general todos estos métodos consisten en la incubación del suelo con un fosfato orgánico donde

se estima los productos de la reacción, esto es, la cantidad de P inorgánico ó la molécula orgánica liberados (Trasar *et al.*, 2003).

Al respecto, estudios de este enzima indican que para mayor confiabilidad metodológica se hace necesario determinar la cantidad de P inorgánico liberado por la hidrólisis enzimática (Douglas *et al.*, 1976 citado Trasar *et al.*, 2003). En este caso el sustrato más utilizado es el  $\beta$ -gliceril fosfato donde el Pi liberado puede ser fijado por los constituyentes del suelo dificultando la medida (Speir y Ross, 1978).

### 3.2.2.2 *Deshidrogenasas*

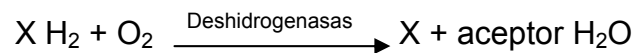
Las deshidrogenasas son oxidorreductasas que oxidan un sustrato, eliminando un par de electrones y los átomos de hidrógeno acompañantes (Coyne, 2000). La importancia de ésta es que permite que se lleve a cabo el proceso de la fosforilación oxidativa, íntimamente ligado al ciclo de Krebs (Sánchez *et al.*, 2000).

La medida de esta actividad enzimática en el suelo comprende distintos sistemas deshidrogenasas y su origen está en la oxidación biológica mediante procesos de deshidrogenación de diferentes compuestos orgánicos, que bajo condiciones aeróbicas se ligan a una cadena de transferencias o transporte de electrones acoplados a la síntesis de ATP, el cual tiene al oxígeno como aceptor final. El proceso se conoce como fosforilación oxidativa (Alef, 1995, Lehninger, 1978 citado por Trasar *et al.*, 2003, Alef y Nannipieri, 1995).

En la ruta principal de transporte electrónico, desde los sustratos orgánicos hasta el O<sub>2</sub> molecular, participan 4 tipos de enzimas de oxido-reducción, entre ellas se encuentran las deshidrogenasas piridín-reducción, que necesitan NAD o NADP como coenzima, y las deshidrogenasas flavín-dependientes, que contienen FAD o FMN como grupo prostético (Lehninger, 1978 citado por Trasar *et al.*, 2003).

Otros sustratos respiratorios son deshidrogenados por deshidrogenasas ligadas a flavina, tales como succinato deshidrogenasa y acyl-CoA deshidrogenasa, cuya fuente de electrones está en cadena, vía ubiquinona. NAD<sup>+</sup> y ubiquinona. Sirven para colectar reduciendo equivalentes de sustratos respiratorios, oxidados por deshidrogenasas ligadas a pirimidina y flavina, respectivamente. Los electrones son posteriormente transferidos al sistema del citocromo, donde son oxidados por O<sub>2</sub> (Bolaños, 2006).

La reacción catalizada por las deshidrogenasas es del tipo:



Así, la actividad deshidrogenasas total depende de las actividades de diferentes deshidrogenasas (Von Mersi y Schinner, 1991) y juegan un papel fundamental en las etapas iniciales de oxidación de la materia orgánica (Ross, 1971). Esto implica que estos enzimas sean considerados como indicadores adecuados de las actividades oxidativas del suelo y de las actividades microbianas del mismo (Skujins, 1973, Casida, 1977, Tabatabai, 1982, Trevors, 1984, García *et al.*, 1997 Naninperi *et al.*, 1990 citados por Trasar *et al.*, 2003).

La actividad de las deshidrogenasas se produce de manera intracelular y está asociada a procesos respiratorios de los microorganismos, por ello la estimación de ésta es más dependiente del estado metabólico y de la actividad biológica de estos en el suelo (Roldán *et al.*, 2005, Quilchano y Maraño, 2002)

Algunos autores como Aguilera *et al.* (1988), Von Mersi y Schinner, (1991) citados por Trasar *et al.* (2003) y Stevenson (1959) citados por Bolaños (2006) registran que la medida de esta actividad enzimática es adecuada por la alta correlación obtenida con el consumo de O<sub>2</sub> por los microorganismos. Sin embargo, no han encontrado relación entre la actividad de esta enzima con el número de

microorganismos presentes en el suelo, la velocidad de consumo de O<sub>2</sub>, o con la formación de CO<sub>2</sub> (Trasar *et al.*, 2003).

Algunos estudios señalados por Bolaños (2006) indican que la actividad de estas enzimas está influenciada por humedad, pH, Ca, Mg, K, y la aplicación de insecticidas. Así en suelos ácidos con pH menor de 5 y en suelos salinos que presentan pH alto presentan baja actividad de deshidrogenasa, además el O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>+3</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup> influyen en la actividad de esta enzima.

Martínez *et al.* (2001), señalan que además de los factores anteriores la adsorción por el complejo órgano-mineral, la solución del suelo, el contenido y el tipo de materia orgánica, la textura e incluso factores antropogénicos como la fertilización y el manejo de suelo, afectan esta enzima.

Los mismos autores en estudios realizados en tres suelos, encontraron que al agregar un sustrato de fácil degradación y altamente energético como la glucosa, se producen incrementos notables de la actividad de deshidrogenasas indicando pérdida de materia orgánica biodegradable, en los primeros 20 cm de profundidad. Esta actividad disminuye en los siguientes 20 cm por el cambio textural de los suelos.

En cuanto a lo metodológico la estimación de la actividad deshidrogenasa del suelo, la metodología se basa en el uso de sales solubles de tetrazolio como aceptores artificiales de electrones. Las más utilizadas son el cloruro de trifeniltetrazolio (TTC) y el 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio (INT), cuando se reducen estas sales se forma un color rojo que es determinado por colorimetría (Trevors, 1984, Von Mersi y Schinner, 1991 citados por Trasar *et al.*, 2003).

Lenhar (1956) citado por Trasar *et al.* (2003), fueron los primeros en medir la actividad deshidrogenasas en suelos y utilizando el TTC como aceptor final de

electrones bajo condiciones anaeróbicas. Sin embargo, esta técnica presenta algunas dificultades para conseguir una total anaerobiosis durante el ensayo, ya que la presencia de O<sub>2</sub>, inhibe la reducción del TTC, o el efecto tóxico que para los microorganismos tiene tanto el TTC como su producto reducido, el trifenil formazán (TPF) (Von Mersi y Schinner, 1991).

### **3.3 PLANTA OBJETO DE ESTUDIO**

#### **3.3.1 Maíz Dulce (*Zea mays* L.)**

Es un cereal que se ha distribuido ampliamente a nivel mundial y ocupa la tercera posición en cuanto a producción total, detrás del arroz y del trigo. Su cultivo se realiza desde el Ecuador hasta los 50° de latitud norte o latitud sur y desde el nivel del mar hasta más de 3000 metros de altitud, en climas cálidos y fríos y con ciclos vegetativos con rangos entre 3 hasta los 13 meses. Ningún otro cereal tiene un uso tan variado, casi todas las partes de la planta de maíz tienen valor económico agregado (Demont & Tollens, 2004). En el maíz dulce es corto el período en que el grano mantiene un nivel óptimo de calidad de consumo. Altas temperaturas tienden a convertir el azúcar del grano en almidón; hacen que no tenga demasiado éxito en los países tropicales (Alfaro Y Bejarano, 2003).

#### **3.3.2 Caracterización Biológica**

El maíz dulce (*Zea mays* L.), es una especie monoica, que se caracteriza por tener la inflorescencia femenina (mazorca) y la masculina (espiga) separadas pero en la misma planta. El maíz es una especie de polinización abierta (alógama), la polinización ocurre con la transferencia del polen, por el viento, desde la espiga a los estigmas (cabellos) de la mazorca. Cerca del 95% de los óvulos son fecundados con polen de otra planta y un 5% con el mismo polen, aunque las

plantas son completamente autocompatibles (Poehlman, 1959 citado por Silva, 2005).

### **3.3.3 Características Genéticas**

El crecimiento y desarrollo del maíz se determina por el genotipo (semilla) y su expresión depende de factores ambientales como luz, agua, temperatura, CO<sub>2</sub>, nutrientes que son interacciones que determinan la cantidad del grano y forrajes producidos (Herrera, 1998 citado por Robayo, 2006).

La principal diferencia genética básica entre el maíz dulce y el maíz normal es la presencia del gen recesivo (Su) en el cromosoma 4, el cual, en estado homocigoto, da lugar a la condición dulce. Este gen disminuye el contenido de almidón en el endospermo y origina el aumento de los polisacáridos solubles en agua, tales como fitoglicógeno (de 8 a 10 veces) que proporciona a los granos una textura agradable y cremosa duplicando el contenido de azúcares en el grano (Wann citado por Cartaya *et al.*, 1998).

La diferencia entre el maíz dulce y el maíz normal se radica en que su endospermo posee carbohidratos de bajo peso molecular como azúcares y dextrinas que hacen que los granos sean dulces, succulentos (jugosidad) y de textura blanda por un mayor periodo de tiempo (Del Valle. Desrosier, citados por Cartaya *et al.*, 1998).

### **3.3.4 Algunos Estudios**

En muchos estudios utilizan al maíz como indicador de los ensayos, en su gran mayoría van dirigidos a los cambios fisiológicos y morfológicos de la raíz, condiciones de estrés como por ejemplo los bajos contenidos de nutrientes, cambios en el pH, estímulos en la producción exudados, enzimas, ácidos, entre

otros a través de diferentes manejos agronómicos, contenido de humedad y tipos de suelos entre los más mencionados.

Al respecto España *et al.*, 2001 evaluaron la actividad enzimática con respecto a los sistemas de labranza y la disponibilidad de N<sub>2</sub>. En esta investigación encontraron que los residuos de cosecha con relaciones de C:N y lignina:N bajas, en suelos con condiciones adecuadas de humedad-aireación, favorece una descomposición más acelerada de los residuos, probablemente debido a un aumento de la actividad biológica del suelo (mayor proliferación de microorganismos ureolíticos y proteolíticos), lo cual indica mayor contribución del N proveniente de los residuos al N del suelo.

Fernández y Ramírez (2001) evaluaron los cambios de pH relacionados con la disponibilidad de fósforo en la zona radical, encontrando que según la línea de maíz usado son las modificaciones de pH de la rizósfera, además, la presencia de una fuente poco disponible acidificó el suelo al inicio del desarrollo de las plantas, seguido por un incremento en la disponibilidad de P y un aumento de pH por la disolución del calcio de la roca fosfórica. .

Goerge *et al.* (2002) identificaron actividad de fosfatasas alcalinas en maíz y de fosfatasas ácidas en especie agroforestales, en ésta última se evidenció un aumento exponencial a medida que se acercaron a la raíz. También se encontró la presencia de ácidos orgánicos especialmente el cítrico que fue mayor en las especies agroforestales que en el maíz.

Hernández *et al.* (2003) observaron el efecto de tres sistemas de labranza y régimen de humedad con la actividad de la deshidrogenasas sobre un cultivo de maíz, en ésta investigación se encontró que el contenido de humedad y las prácticas de manejo afectaron la actividad enzimática en el tiempo, siendo el

sistema de siembra directa el tratamiento con mayor valor, debido al mayor contenido de sustratos orgánicos disponibles para los microorganismos del suelo.



La Hacienda Miravalle del municipio de Florida, está georeferenciada bajo las coordenadas 3° 18' 20.1" N y 76° 14' 11" W, ubicada a 1037 msnm y su suelo se clasificó como Typic Argiudoll con intrusiones Entic Dystropept. La Hacienda Gertrudis Lote 105 en el Ingenio Manuelita, está georeferenciada bajo las coordenadas 3° 35' 51.1" N y 76° 16' 8.9" W, ubicado a 1049 msnm y presenta suelos clasificados como Fluventic Haplustoll (IGAC y CVC, 2004). La descripción de los dos suelos se hace en los Anexos 1 y 2, respectivamente.

La etapa experimental se desarrolló en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia, municipio de Palmira, Valle del Cauca, georeferenciado bajo coordenadas 3° 30' 45,6" N y 76° 18' 29.911" W, ubicado a una altura de 950 m.s.n.m., con temperatura media de 24 °C.

#### **4.2 HIPÓTESIS**

El trabajo se planificó y realizó bajo la hipótesis: La aplicación de vinaza al suelo afecta la actividad biológica de éste, en particular las fosfatasas y deshidrogenasas en comparación con la aplicación de cloruro de potasio, fuente cotidiana de este elemento.

#### **4.3 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

Para corroborar la hipótesis planteada en los suelos (Entic Dystropept y Fluventic Haplustoll) sobre algunas variables de naturaleza química, física y bioquímica en un cultivo de maíz dulce *Zea mays* L., se aplicaron diferentes fuentes de potasio: Cloruro de potasio, vinaza y dos combinaciones de Vinaza y cloruro de potasio (relaciones de 50-50 y 75 -25 respectivamente).

### 4.3.1 Recolección de las muestras de suelo

La recolección de las muestras se realizó a una profundidad de 0-20 cm en los suelos señalados los cuales fueron llevados al invernadero de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, para posteriormente establecer el experimento.

### 4.3.2 Ensayo de invernadero

En el invernadero los suelos se secaron al aire y se homogenizaron previamente. Luego se pesaron 10 Kg de cada suelo y se colocaron en recipientes plásticos de la misma capacidad. Cada recipiente representó una unidad experimental. Los tratamientos que se aplicaron se describen en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Descripción de los tratamientos

Suelos	Tratamientos	Fuentes de potasio
Suelo 1 Florida	T1	Vinaza
	T2	KCl
	T3	Vinaza + KCl (50% + 50%)
	T4	Vinaza + KCl (75% + 25%)
	Testigo 1*	Suelo con planta
	Testigo 2*	Suelo sin planta
Suelo 2 Manuelita	T1	Vinaza
	T2	KCl
	T3	Vinaza + KCl (50% + 50%)
	T4	Vinaza + KCl (75% + 25%)
	Testigo 1*	Suelo con planta
	Testigo 2*	Suelo sin planta

\* Testigos sin fertilización.

Las unidades experimentales se organizaron bajo un diseño completamente al azar conformado por cuatro tratamientos, dos suelos, cinco repeticiones y cuatro testigos para un total de 44 unidades experimentales previamente aleatorizadas y rotuladas según la siguiente Nomenclatura.

FTxRn y MTxRn corresponden al suelo de Florida y Manuelita respectivamente, Tx son los tratamientos (T1= KCl, T2= Vinaza, T3 = 50:50 y T4 = 75:25) y Rn son la repeticiones. Los testigos se marcaron así FTgPRn y MTgPRn para el suelo con planta, y FTgSRn y MTgSRn para suelo solo sin planta (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Arreglo experimental de los diferentes tratamientos

FTgSR1	FT3R5	FT1R3	FT1R4	FT2R5	FTgPR2	MTgSR1	MT3R5	MT1R3	MT1R4	MT2R5	MTgPR2
FT1R5	FT2R1	FT4R4	FT2R3	FT2R4	FTgSR2	MT1R5	MT2R1	MT4R4	MT2R3	MT2R4	MTgSR2
FT3R1	FT4R2	FT1R2	FTgPR2	FT3R2	FT3R4	MT3R1	MT4R2	MT1R2	MTgPR2	MT3R2	MT3R4
FT2R2	FT4R1	FT3R3	FT1R1	FT4R3	FT4R5	MT2R2	MT4R1	MT3R3	MT1R1	MT4R3	MT4R5

Las unidades experimentales se colocaron en las mesas del invernadero. Se las llevó a capacidad de campo, para realizar la siembra de maíz dulce (hibrido GSS 4644) y consecutivamente la adición de las diferentes fuentes y dosis de fertilización.

El maíz es una planta de rápido crecimiento, en algunos híbridos el ciclo se reduce a 65 días, por lo tanto, los requerimientos nutricionales son importantes y deben ser satisfechos en corto período. Por ello se debe iniciar el cultivo con una fertilización base que incluya fósforo y nitrógeno (Inta, 2001). Las recomendaciones de nitrógeno varían de 60 a 130 Kg/Ha, fósforo de 50 a 110 Kg/Ha y potasio de 60 Kg/Ha (Kline citado por Fhia 2000). Robayo\* (2007) indica que, en suelos del Valle del Cauca, el cultivo de maíz dulce responde a dosis de 250 Kg/Ha de K, 200 Kg/Ha de N y 100 Kg/Ha de P, en este caso se siguieron estas recomendaciones.

---

\* Robayo, 2007 Comunicación Oral

Las fuentes de potasio utilizadas fueron KCl comercial de 60% de K<sub>2</sub>O y vinaza de concentración del 25% de sólidos y 33.91Kg/m<sup>3</sup> de K<sub>2</sub>O provista por el Ingenio Providencia. La fuente de Fósforo fue DAP de 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y de Nitrógeno, urea con 46% de N. Las dosis de N, P y K, fósforo y nitrógeno se calcularon a partir de la dosis requerida por hectárea. La dosificación por unidad experimental se estableció con base en una densidad del cultivo de 55.555 plantas/Ha (0.9 m entre hileras por 0.2 m entre plantas), a una profundidad de 20 cm y densidades de 1.4 g\*cm<sup>-3</sup> y 1.25 g\*cm<sup>-3</sup> para Florida y Manuelita respectivamente.

Los fertilizantes se aplicaron juntos en dos fracciones: la primera fertilización cuando las plantas tenían 3 hojas (10 días aproximadamente). En este momento se aplicó 50% de K y N, y 60% de P. La segunda fertilización se efectuó cuando las plantas presentaban entre 6 y 7 hojas (aproximadamente 40 días) y se aplicó 50% de K y N y 40% de P. Los fertilizantes se colocaron en los lados a través de un círculo imaginario alrededor de la planta, a 12 cm de distancia del tallo (Tabla 5).

**Tabla 5.** Descripción detallada de las dosis de las diferentes fuentes de potasio, fósforo y nitrógeno para cada unidad experimental

TRATAMIENTOS	FLORIDA		MANUELITA	
	Primera Fertilización	Segunda Fertilización	Primera Fertilización	Segunda Fertilización
<b>T1 KCl</b>	1g	1g	5g	5g
<b>T2 vinaza</b>	20 mL	20 mL	108 mL	108 mL
<b>T3 50%V +50% KCl</b>	0.50g KCl 10 mL Vinaza	0.50g KCl 10 mL Vinaza	2.5g KCl 54 mL Vinaza	2.5g KCl 54 mL Vinaza
<b>T4 75% V +25% KCl</b>	0.25g KCl 15 mL Vinaza	0.25g KCl 15 mL Vinaza	1.25g KCl 81 mL Vinaza	1.25g KCl 81 mL Vinaza
<b>DAP</b>	(60%) 3.91g	(40%) 2.61g	(60%) 3.7 g	(40%)2.47g
<b>UREA</b>	2.0g	2.0g	5.95 g	5.95 g

#### 4.3.2.1 Muestreo

El muestreo se realizó mediante un trazado imaginario de un círculo concéntrico alrededor del tallo en la zona rizósferica de la planta de maíz en cada unidad experimental (Figura 3)



**Figura 3.** Muestreo de suelos para actividad enzimática.

Las muestras destinadas a la estimación de actividad enzimática se guardaron en bolsas de polietileno debidamente rotuladas. En el laboratorio se almacenaron a  $-80^{\circ}\text{C}$ , y antes de su análisis se colocaron a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Para los parámetros físicos y químicos el almacenamiento fue transitorio, desde el invernadero hasta el laboratorio donde se realizaron los análisis en el menor tiempo posible.

La profundidad de muestreo fue de 0-5 cm en el perfil del suelo, debido a que la mayoría de los registros bibliográficos señalan que la actividad enzimática se concentra en los primeros 10 cm (Yoshioka, 2005 y Bolaños, 2006). Se efectuaron cuatro muestreos en las siguientes épocas:

1. Al inicio del ensayo, cero días antes de la siembra (0 DAS)
2. Diez días del desarrollo del cultivo, antes de la primera fertilización (10 DDS)
3. Treinta y ocho días del cultivo, después de la primera fertilización (38 DDS)
4. Setenta y seis días en la cosecha, después de la segunda fertilización (76 DDS)

#### 4.3.2.2 Variables evaluadas

Se estimaron variables físicas, químicas, biológicas del suelo y fisiológicas de la planta. Las propiedades estimadas y la frecuencia del muestreo se describen en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Descripción de las variables de respuesta evaluadas en los suelos en estudio y metodología utilizada y época de muestreo.

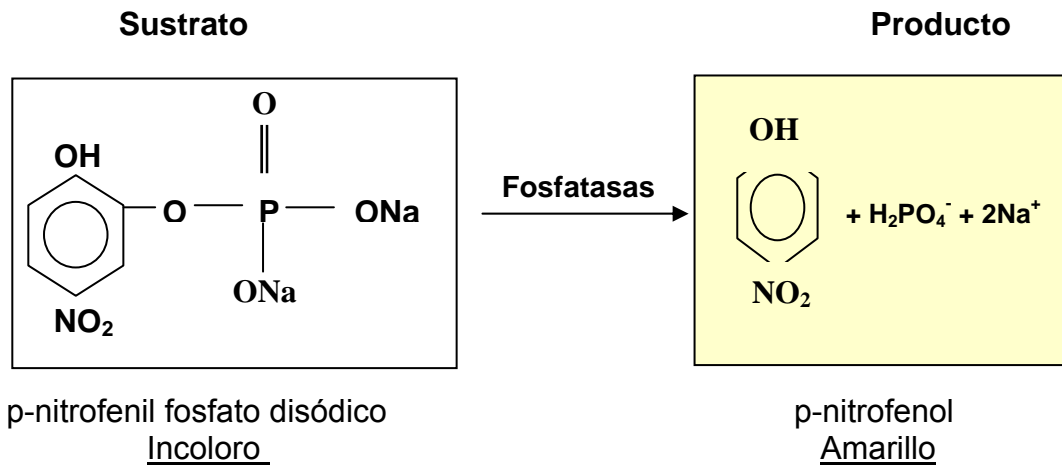
Propiedad	Parámetro	Metodología Autor	Época de muestreo
Física	Densidad aparente Textura Estabilidad de agregados Porosidad total	Núcleo (Malagón y Montenegro, 1990) Pipeta (Malagón y Montenegro, 1990) Yoder (Malagón y Montenegro, 1990) Cálculo matemático	0 y 76 días
Química	pH CIC % MO Macro y micronutrientes Fósforo	Potenciómetro (1:1) (Motta <i>et al.</i> , 1990) Acetato de amonio pH 7 (Motta <i>et al.</i> , 1990) Walkey y Black (Motta <i>et al.</i> , 1990) Espectrofotometría de Absorción Atómica (Motta <i>et al.</i> , 1990) Bray II y Olsen (Motta <i>et al.</i> , 1990)	0 y 76 días
Bioquímica	Deshidrogenasa Fosfatasa alcalina Fosfatasa ácida	Von Mersi y Schinner (1991) modificado por Camiña <i>et al.</i> (1998) citado por Trasar <i>et al.</i> , 2003 Tabatabai y Bremner (1969) modificado por Yoshioka, (2005) y Bolaños, (2006)	0, 10, 38 y 76 días
Fisiológica	Materia seca	Gravimetría (Motta <i>et al.</i> , 1990)	76 días

Los análisis se realizaron en los laboratorios de Química, Física, Microbiología y Fisiología de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

❖ **Evaluación de Fosfatasas ácidas y alcalinas (Fosfomonoesterasas) según el método de Tabatabai y Bremner (1969) modificado por Yoshioka (2005) y Bolaños (2006)**

El método se basa en la determinación espectrofotométrica del p-nitrofenol (coloración amarilla) liberado cuando se incuba el suelo a 37 °C durante 1 hora con una disolución tamponada de p-nitrofenil fosfato disódico (inoloro) (pH 6.5 para la fosfomonoesterasa ácida y pH 11.0 para la alcalina) previo tratamiento con

cloruro de calcio e hidróxido de sodio, los cuales además de realizar la extracción contribuyen a la dispersión de arcillas y eliminación de la materia orgánica respectivamente (Trasar *et al.*, 2003). La base teóricas de la metodología es la siguiente:



Fuente: Yoshioka (2005); con base en González (2002)

Se tuvo en cuenta la recomendación de Tabatabai y Bremer, 1970 de utilizar tampones con pH de 6.5 para medir fosfatas ácida y pH 11 para la alcalina, sugerencia que aún es utilizada en varios estudios. Generalmente se añade MUB, con el fin de garantizar estos valores de pH óptimo.

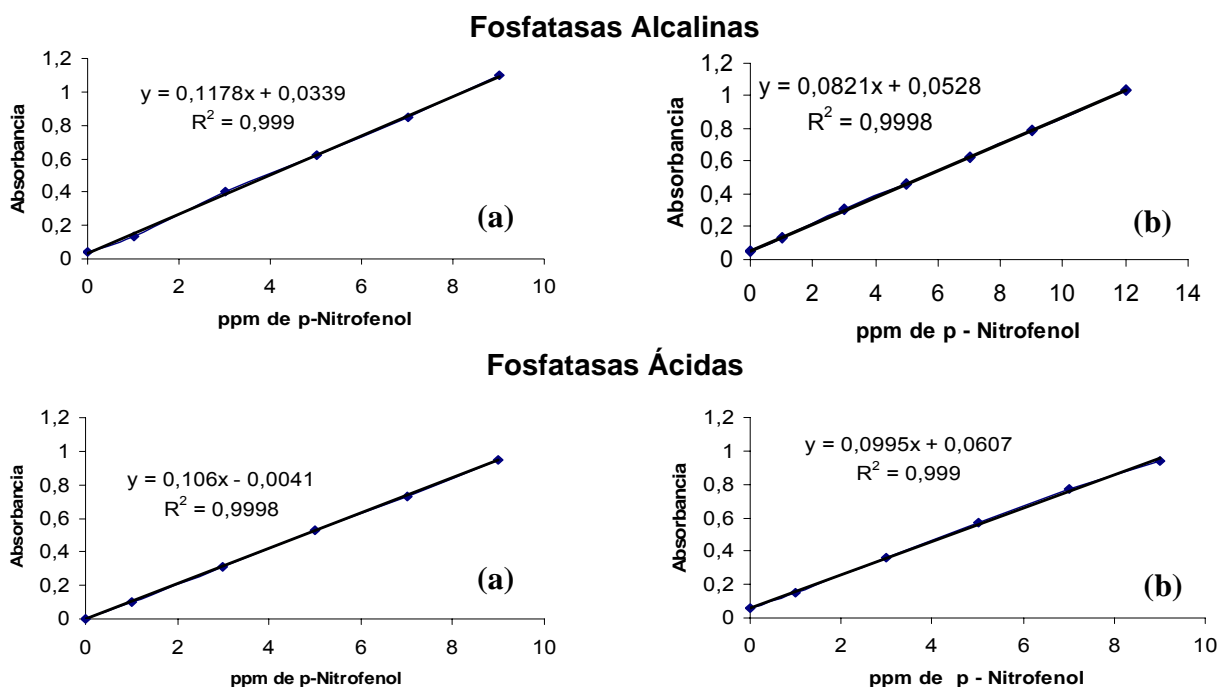
- **Curva de calibración**

A partir de la solución de 1000 ppm de p-nitrofenol se tomaron diferentes alícuotas y se llevaron a un volumen de 100 mL, y se obtuvo diferentes estándares de calibración Tabla 7.

**Tabla 7.** Estándares de trabajo utilizados para la estimación de fosfatasa alcalinas y ácidas

<b>Alícuota (mL)</b>	<b>mg/L NTF Solución</b>	<b>Volumen final con agua (mL)</b>
0	0	100
1	10	100
3	30	100
5	50	100
7	70	100
9	90	100
12	120	100

Se tomó 1 mL de cada estándar de trabajo y se añadió 4 mL de agua destilada, 1 mL de cloruro de Calcio 0.5M y 4 mL de hidróxido de sodio 0.5 M, se filtró a través de papel filtro Whatman No 2. La absorbancia para cada patrón se leyó en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 11 a 400 nm (Trasar *et al.*, 2003). Se realizaron las curvas de calibración de fosfatasa ácida y alcalina para cada suelo (Figuras 4).



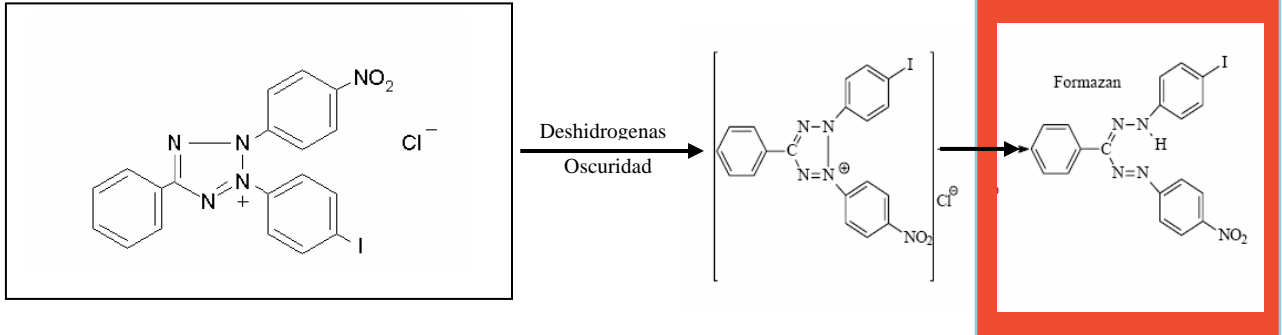
**Figura 4.** Curva de calibración para estimar las fosfatasa alcalinas y ácidas:  
a) Suelo Florida b) suelo Manuelita.

El cálculo de la actividad se realizó interpolando en la curva de calibración (absorbancia vs concentración) cuyo modelo corresponde a una ecuación lineal que permite establecer el contenido de p-nitrofenol en las muestras.

Para obtener  $\mu$ moles P-nitrofenol se requirió pesar una muestra de suelo húmedo equivalente a 1g de suelo seco, determinado a partir del % humedad calculado previamente) se agregó el tampón correspondiente para cada fosfatasa y el sustrato, se incubó en un baño de María a 37 °C por una hora. Las estimaciones se hicieron por triplicado y se les restó el valor de una muestra control (posibles trazas de P-nitrofenol presente en la preparación comercial del p\_nitrofenil fosfato y del color debido a compuestos orgánicos que se puede extraer con el NaOH). De esta manera las unidades de medida de las fosfatasas ácida y alcalina son:  $\mu$ mol P-nitrofenol por gramo de suelo seco a la estufa por una hora a 37°C. (Trasar *et al.*, 2003, Yoshioka, 2005 y Bolaños 2006). En el Anexo 3 se presenta un diagrama de los procesos metodológicos realizados en el laboratorio.

❖ **Evaluación de la Actividad Deshidrogenasa del Suelo por el método de Von Mersi y Schinner (1991) modificado por Camiña *et al.* (1998) citados por Trasar *et al.*, 2003**

El método se basa en la medida espectrofotométrica del idonitrotetrazolio formazán (INTF) de color rojizo producido por la reducción del 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio (INT) incoloro, el suelo se incuba con INT en medio tamponado y en oscuridad durante 1 hora a 40 °C y se extrae con una mezcla de etanol – dimetilformamida. La reacción que soporta esta metodología es:



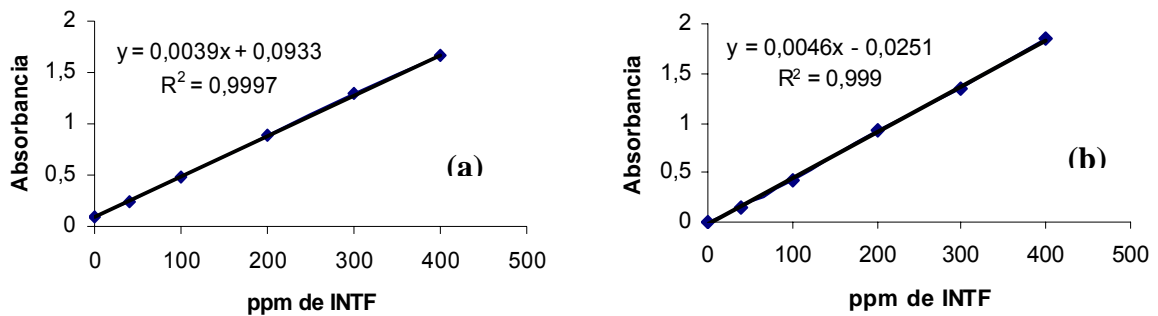
Cloruro 4(2-p-iodofenil)-3-(4-p-nitrofenil)-5-fenil-2H-tetrazolio (INT)

Iodo (INTF)

- **Curva de calibración**

En seis tubos de ensayo se pesó 1 g de suelo húmedo al cual se les agregó alícuotas de: 0, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 y 2 mL de la solución de 200 ppm idonitrotetrazolio formazan (INTF). Se completó hasta 2 mL con la mezcla de etanol: dimetilformamida y se incubó a 40° C durante 1 hora en la oscuridad. Posteriormente se agregó 2 mL de agua y 8 mL de etanol:dimetilformamida.

Se tomó cada estándar de trabajo y se filtró por gravedad a través de papel filtro Whatman No 2, la absorbancia para cada patrón se leyó en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lamba 11 a 490 nm (Trasar *et al.*, 2003). Se anotó las lecturas para realizar la curva de calibración que correspondió a un modelo lineal cuya ecuación permite calcular la concentración INTF en las muestras, para cada suelo se realizó una curva (Figura 5).



**Figura. 5** Curva de calibración para estimar el contenido de Deshidrogenasas:  
**a)** Florida **b)** Manuelita

Para obtener  $\mu$ moles de INTF se requirió pesar suelo húmedo equivalente a 1 g de suelo seco a la estufa, determinado a partir del % de humedad calculado previamente, al cual se le agregó una solución tampón y el sustrato, luego se incubó a 40°C en baño de María a oscuras por una hora. Las estimaciones se hicieron por triplicado y se les restó el valor de una muestra control (sustancias coloreadas del propio suelo). De esta manera las unidades de actividad de la deshidrogenasas son:  $\mu$ mol INTF por gramo de suelo seco por una hora a 40°C (Trasar *et al.*, 2003) En el Anexo 4 se presenta un diagrama de los procesos metodológicos realizados en el laboratorio.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información recopilada de las distintas variables se sometió a análisis de varianza (ANDEVA) donde se evaluó el efecto de los tratamientos y edades del cultivo de maíz. Las pruebas de Tukey, Duncan y DMS se utilizaron para los casos en los cuales se detectaron diferencias significativas. El paquete estadístico usado fue SAS (2008).

Para evaluar a nivel estadístico las posibles relaciones entre las propiedades del suelo y la actividad enzimática, se hizo análisis de correlación de Pearson ( $p \leq 0.05$ ).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA VINAZA

La caracterización química de la vinaza al 25% utilizada para esta investigación se presenta en la Tabla 8. Como se observa esta vinaza presenta fuerte acidez, pH 4.5 y sobresalen contenidos de K (34.34 Kg/m<sup>3</sup> de K<sub>2</sub>O), Ca (3.41 Kg/m<sup>3</sup> de CaO), Mg (9.61 Kg/m<sup>3</sup> de MgO) y Na (2.23 Kg/m<sup>3</sup> de Na). El potasio es el elemento de mayor concentración seguido del magnesio. Para el resto de nutrientes las concentraciones son bajas, resultados comparados con Lotero (2006).

**Tabla 8.** Caracterización de la vinaza

<b>Propiedades químicas</b>	<b>Vinaza 25%</b>
pH (1:1)	4.5
N	0.007 (Kg/m <sup>3</sup> )
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.002 (Kg/m <sup>3</sup> )
K <sub>2</sub> O	34.04 (Kg/m <sup>3</sup> )
CaO	3.41 (Kg/m <sup>3</sup> )
MgO	9.61 (Kg/m <sup>3</sup> )
SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.27 (Kg/m <sup>3</sup> )
B <sub>2</sub> O	0.01 (Kg/m <sup>3</sup> )
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45 (Kg/m <sup>3</sup> )
MnO	0.03 (Kg/m <sup>3</sup> )
CuO	0.004 (Kg/m <sup>3</sup> )
ZnO	0.009 (Kg/m <sup>3</sup> )
Na	2.23 (Kg/m <sup>3</sup> )

**Fuente:** Centro de investigación de Agricultura tropical CIAT, 2007

Diferentes autores afirman que la composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, melaza, jugos o miel, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la

fermentación y destilación y de las variedades y maduración de la caña. (Gloria y Orlando, 1983 citados por Quintero, 2004; Lotero, 2006).

## **5.2 VARIACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS**

Los suelos evaluados pertenecen a la parte plana del Valle del río Cauca que son de origen aluvial aunque algunos de ellos, localizados en el pie de monte son de origen coluvio-aluvial. Quintero (2004) los describe como de textura franco arcillosa con valores de pH entre 5,5 y 7,0, contenidos de materia orgánica entre 2 y 4%, contenidos de fósforo disponible superiores a 20 ppm y contenidos de potasio intercambiable entre 0,20 y 0,40 cmol/Kg de suelo seco. Las relaciones de calcio: magnesio intercambiables son normales y predominan los contenidos altos de ambos nutrientes. (Quintero, 2004).

### **5.2.1 Suelo de Florida**

Para el suelo de Florida en la Tabla 9 se recogen las características químicas iniciales y su variación con la aplicación de los diferentes tratamientos. El ANDEVA ( $P < 0.05$ ) (Anexo 5) muestra que el pH presenta diferencias altamente significativas entre el muestreo inicial y final, en el último muestreo no se presentaron diferencias entre los tratamientos (Anexo 6). El valor inicial de pH (5.6) fue considerado moderadamente ácido y disminuyó en mayor proporción con la aplicación de KCl (4.8) y con la relación 75:25 (4.8), siendo estos tratamientos los de mayor acidez (Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, 1990, 2001).

Estudios realizados por Mattiazo y Glorie (1987) señalan que la aplicación de la vinaza genera una reducción inicial del pH el cual se incrementa con el tiempo debido a la actividad microbiana causada por la oxidación de la materia orgánica

**Tabla 9.** Cambios en las propiedades químicas del suelo de Florida entre épocas de muestreo

Parámetro	Muestreo inicial	Muestreo final			
	Sin fertilización	KCl	Vinaza	50 VNZ:50KCl	75 VNZ:25 KCl
pH (1:1)	5.6 (a)*	4.8 (b)*	5.0 (b)*	4.9(b)*	4.8(b)*
MO %	8.2(a)	8.2(a)	7.9(a)	8.3(a)	7.9(a)
Ca (cmol/Kg)	6.9(a)	6.7(b)	7.9(b)	7.6(b)	7.3(b)
Mg (cmol/Kg)	2.6(a)	2.2(b)	2.5(b)	2.5(b)	2.5(b)
K (cmol/Kg)	0.4(a)*	1.7(b)*	2.3(b)*	2.2(b)*	2.1(b)*
Na (cmol/Kg)	0.2(a)	0.4(b)	0.2(b)	0.2(b)	0.3(b)
CIC (cmol/Kg)	14.5(a)	14.9(b)	16.1(b)	15.7(b)	16.4(b)
P (ppm Bray II)	50.9(a)*	70.6(b)*	62.8(b)*	72.2(b)*	66.6(b)*
Cu (ppm)	2.4(d)*	2.7(b)*	3.4(b)*	4.5(a)*	4.8(a)*
Zn (ppm)	10.8(a)	13.7(a)	11.2(a)	12.4(a)	4.1(b)
Mn (ppm)	57.2(a)	65.7(a)	47.1(a)	48.6(a)	57.1(a)
Fe (ppm)	263.3(a)	261,4(a)	232.8(a)	271.6(a)	267(a)
B (ppm)	0.3(a)*	0.9(b)*	0.8(b)*	0.8(b)*	0.9(b)*
Ca + Mg/K	21.8(a)*	8.0(b)*	9.0(b)*	8.8(b)*	8.5(b)*

**Fuente:** Laboratorio de Suelos y Aguas Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 2007.

\* Diferencias altamente significativas entre muestreos

El Na presentó, (Anexo 5 y 6) diferencias significativas entre los muestreos. En el muestreo final no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sus contenidos son bajos, entre 0.2 y 0.4 cmol/Kg de suelo, por tanto, no se evidencian problemas de sodicidad, ya que para ello, se necesitarían contenidos del orden de 0.9 cmol/Kg de suelo (AGROSAGI, 2007). Sin embargo, es importante investigar el uso continuo de vinaza y su incidencia sobre este elemento

La materia orgánica inicialmente presentó valores de 8.2% que posteriormente oscilaron a valores cercanos de 8.0%, estos fueron considerados altos en comparación al 4.2% de materia orgánica encontrado para los suelos del Valle del Cauca (ICA, 1976 citado por Castro, 1998), además no se encontraron diferencias significativas entre muestreos ni con los tratamientos. La vinaza 100% fue el tratamiento que presentó menor porcentaje de MO.

Con respecto al P se presentaron diferencias altamente significativas entre los dos muestreo, la concentración inicial fue de 50.9 ppm, que se incrementó a valores

que van de 62.8 ppm (Vinaza) a 72.2 ppm (50:50). En el muestreo final no se evidenciaron diferencias estadísticas importantes entre los tratamientos. Los valores de P encontrados en este suelo se pueden considerar altos de acuerdo con Porta (1986), Domínguez (1984) y Garrido, (1994) citados por Sánchez (2003), IGAC (1996) citado por Castro (1998) ya que contenidos por encima de 30 ppm, determinados por el método Bray II, son altos.

La capacidad de intercambio catiónico –CIC– en el primer muestreo fue significativamente menor (14.5 cmol/Kg) en comparación con el muestreo final. En este último muestreo aunque los tratamientos de vinaza pura y la relación 75:25 presentaron valores más altos (16.1 y 16.4 cmol/Kg), el ANDEVA ( $P < 0.05$ )(Anexo 5 y 6) evidencia que no existen diferencias entre los tratamientos. El incremento presentado en esta propiedad puede ser atribuido al aporte de grupos carboxilos e hidroxilos en la materia orgánica (Garavito, 1979).

El Ca mostró un comportamiento similar a la CIC, incrementos significativos entre los muestreos con la aplicación vinaza pura y sus dos relaciones, con el KCl disminuyeron a 6.7 cmol/Kg. En el último muestreo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Estos valores se consideran altos pues superan a 6 cmol/Kg (Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo, 1990, 2001).

El Mg al igual que el Ca sólo presentó diferencias entre muestreos, su contenido inicial fue significativamente mayor (2.6 cmol/Kg), en comparación con el muestreo final, donde disminuyó a 2.5 cmol/Kg con la vinaza, la relación 50:50 y 75:25, con KCl bajo a 2.2 cmol/Kg. En el último muestreo no se presentaron diferencias entre tratamientos. Estos valores se pueden considerar intermedios porque no superan 2.5 cmol/Kg de acuerdo a Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo (1990, 2000).

El K presentó diferencias altamente significativas entre muestreos. El contenido inicial fue de 0.4 cmol/Kg (valor considerado como medio ICA, 1992 citado por Castro, 1998) que se incrementó por efecto de la aplicación de los tratamientos, sin que se presentaran diferencias en el último muestreo, mostrando que cualquiera de las fuentes puede aportar potasio e incrementar su disponibilidad para el cultivo sembrado.

La relación Ca + Mg /K sólo presentó diferencias altamente significativas entre el muestreos al disminuir de 21.8 a valores de 8.5 a 9 con la aplicación de los tratamientos, debido al incremento de K cuando se aplicó las diferentes fuentes.

Con respecto a los micronutrientes el ANDEVA (Anexo 5 y 6) muestra que para el Cu se presentaron diferencias altamente significativas entre los muestreos realizados. Su concentración en el primer muestreo fue de 2.4 ppm (según AGROSAGI, 2007 los contenidos de este nutriente inicial es medio) que se incrementó a valores entre 3.5 y 4.8 ppm. En el muestreo final las aplicaciones de las relaciones 50:50 y 75:25 (4.8 y 4.5 ppm) aumentaron significativamente su contenido comparación del KCl y vinaza 100% (3.4 y 2.7 ppm) que lo incrementaron en menor proporción. Sólo con la aplicación de las relaciones de vinaza y cloruro los contenidos estimados de Cu pasaron de ser medios a normales.

El contenido de Fe se mantuvo estable durante el ensayo, no se presentaron diferencias significativas entre muestreos ni tratamientos. El valor inicial fue de 263.3ppm, y disminuyó a 232.2 ppm por efecto de la aplicación de vinaza, que probablemente lo quelató, para los demás tratamientos se incrementó entre 261.4 y 271.6 ppm, estos valores, de acuerdo con AGROSAGI (2007) son normales ya que no superan los 300 ppm.

El Mn al igual que el Fe no presentó diferencias estadísticas importantes. Inicialmente se estimaron 57.2 ppm que se incrementaron a 65.7 ppm con KCl y 57.1 ppm con la relación 75:25, con la vinaza y la relación 50:50 disminuyó a 47.1 y 48.6 ppm. Estas concentraciones son altas (mayores de 15 ppm) según AGROSAGI (2007).

Los contenidos de Zn no presentaron diferencias entre muestreos, pero en el último muestreo la relación 75:25 (4.1ppm) presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos. Se considera que el contenido de Zn para este suelo es normal según tablas de fertilidad de AGROSAGI (2007)

En cuanto al B presentó diferencias altamente significativas entre muestreos, los incrementos fueron de 0.3 a 0.8 y 0.9 ppm. En el último muestreo no se presentaron diferencias entre tratamientos. Aunque se presentó incrementos los valores registrados de B se consideran bajos para este suelo (menores de 5 ppm) según AGROSAGI (2007).

### **5.2.2 Suelo de Manuelita**

Para el suelo de Manuelita en la Tabla 10 se recogen las características químicas iniciales y su variación con la aplicación de los diferentes tratamientos. Los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ ) (Anexo 7) mostró que el pH inicial fue ligeramente alcalino y se redujo a 6.4 con la aplicación de KCl a ligeramente ácido, con los demás tratamientos se mantuvo en neutro. En este mismo ámbito, se registró diferencias altamente significativas entre muestreos. En el último muestreo la aplicación de KCl muestra diferencias altamente significativas con los demás tratamientos (Anexo 8).

**Tabla 10.** Cambios en las propiedades químicas del suelo de Manuelita entre épocas de muestreo.

Parámetro	Muestreo inicial	Muestreo final			
	Sin fertilización	KCl	Vinaza	50 VNZ:50KCl	75 VNZ:25 KCl
pH (1:1)	7.6(c)*	6.4(b)*	7.2(a)*	7.0(a)*	7.0(a)*
MO %	3.8(ba)	4.1(ba)	4.2(a)	4.0(ba)	3.7(b)
Ca (cmol/Kg)	8.7(a)	11.6(b)	11(b)	11.2(b)	10.7(b)
Mg (cmol/Kg)	3.5(ab)	3.6(ab)	3.8(a)	3.62(ab)	3.4(b)
K (cmol/Kg)	0.2(a)*	1.9(b)*	3.0(b)*	2.7(b)*	2.3(b)*
Na (cmol/kg)	0.1(a)*	0.3(b)*	0.3(b)*	0.3(b)*	0.3(b)*
CIC (cmol/Kg)	11.7(a)	13.5(b)	12.3(b)	12.9(b)	12.2(b)
P (ppm Olsen)	38.7(a)	74.4(b)	ND	ND	ND
Cu (ppm)	16.2(b)	15(b)	17.4(a)	15.4(b)	15.7(b)
Zn (ppm)	3.3(a)	4.7(a)	5.4(a)	2.4(a)	2.7(a)
Mn (ppm)	44.1(c)	44.3(b)	52.1(a)	42.7(b)	46.5(b)
Fe (ppm)	96.7(d)*	146.5(ac)*	184.3(a)*	134.0(c)*	160.8(ab)*
B (ppm)	0.3(a)*	1.2(b)*	1.3(b)*	0.7(b)*	1.1(b)*
Ca + Mg/K	60.9(a)*	13.5(b)*	12.6(b)*	12.5(b)*	12.3(b)*

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 2007.

\* Diferencias altamente significativas entre muestreos

El contenido de Na inicial (0.17 cmol/Kg) presentó diferencias altamente significativas entre muestreos, incrementándose a 0.31 a 0.36 cmol/Kg con todos los tratamientos en el último muestreo. Estos valores son bajos ya que oscilan entre 0.2 y 0.4 cmol/Kg, por tanto no se evidencian problemas de sodicidad al igual que Florida (AGROSAGI, 2007).

La materia orgánica inicial fue de 3.8%, que según el ANDEVA ( $P < 0.05$ ) (Anexo 7 y 8) no varió entre los diferentes muestreos, pero en el último muestreo se presentaron diferencias significativas entre la vinaza y la relación 75:25 (4.2 y 3.7 % respectivamente). Estos porcentajes pueden ser considerados medios porque no superaron el rango de 2 a 3% de MO en clima cálido y 4.2% de MO encontrado para los suelos del Valle del Cauca (ICA, 1976 y 1992 citado por Castro, 1998), al igual que para el suelo de Florida la vinaza fue el tratamiento donde se incrementó ligeramente la materia orgánica, tal vez influenciado por el tipo de materiales presentes en la vinaza.

ND la determinación de fósforo no se realizó por contaminación del extracto.

El P presentó diferencias entre el muestreo inicial y cuando se aplicó KCl. Este nutriente se elevó de 38.7 ppm a 74.4 ppm. Según AGROSAGI (2007) estos valores pasaron de normal a altos. En Los demás tratamientos no fue posible realizar la determinación.

Los análisis estadísticos ( $P < 0.05$ )(Anexo 7 y 8) indicaron que la capacidad de intercambio catiónico –CIC– presentó diferencias significativas entre los muestreos realizados al incrementarse de 11.76 cmol/Kg hasta 12.9 y 13.5 cmol/Kg. Dichos valores son bajos para estos suelos (AGROSAGI, 2007). En el último muestreo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

El Ca al igual que la CIC presentó incrementos altamente significativos entre muestreos, especialmente cuando se aplicó KCl y la relación 50:50. Los valores obtenidos son considerados altos (Sociedad Colombiana de la Ciencia de Suelo, 1990, 2001).

Aunque el contenido inicial (3.54 cmol/Kg de suelo) de Mg se incrementó con todos los tratamientos no se presentaron diferencias estadísticas importantes entre muestreos, sin embargo, en el último muestreo se presentó diferencias significativas con la aplicación de vinaza y la relación 75:25. En general las concentraciones estimadas de este elemento son altas (mayores de 2.5 cmol/Kg) de acuerdo a la Sociedad Colombiana de la Ciencia de Suelo (1990, 2001).

El contenido de K en el muestreo inicial fue de 0.2 cmol/Kg considerado bajo, porque no superó el 0.4 cmol/Kg de suelo (ICA, 1992 citado por Castro, 1998). El ANDEVA ( $P < 0.05$ )(Anexo 7 y 8) mostró diferencias altamente significativas entre muestreos porque se presentaron incrementos cuando se aplicaron las distintas fuentes de potasio, especialmente con vinaza pura (3.03 cmol/Kg de suelo), y en menor proporción con KCl (1.98 cmol/Kg), En el último muestreo no se

encontraron diferencias significativas entre tratamientos comportamientos similares al suelo de Florida..

Al igual que el suelo de Florida la relación Ca + Mg /K disminuyó de 60.97 a valores de 12.32 y 13.5, este descenso fue altamente significativo. En el último muestreo no se presentaron diferencias entre los tratamientos.

El Cu no se presentó diferencias estadísticas entre muestreos, sólo en el muestreo final la vinaza presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos. En general el contenido de Cu de este suelo y por efecto de las fuentes de K fue normal según AGROSAGI (2007).

El contenido de Fe inicialmente fue de 96.75 ppm y presentó incrementos altamente significativos con la aplicación de los tratamientos entre los muestreos. En el muestreo final se presentaron diferencias estadísticas entre la vinaza pura y la relación 50:50. Estos valores de acuerdo con AGROSAGI (2007) son altos ya que se encontró entre 100 a 300 ppm, sin causar toxicidad para las plantas.

El Mn ( $P < 0.05$ )(Anexo 7 y 8) mostró diferencias estadísticas entre muestreos, en el último muestreo la relación 50:50 fue el tratamiento que significativamente disminuyó el contenido de Mn a diferencia de los demás tratamientos que lo incrementaron especialmente la vinaza. Los valores obtenidos según AGROSAGI (2007) son altos (mayores de 15 ppm).

Aunque el contenido de zinc presentó incrementos con la aplicación KCl y vinaza (4.7 y 5,4 ppm respectivamente), y descensos con la relaciones 50:50 y 75:25 (2.4 y 2.7 ppm) no se presentaron diferencias significativas entre muestreos ni entre tratamientos en el muestreo final. Sus valores iniciales fueron bajos (menor de 4 ppm), sólo cuando se aplicó las fuentes puras se alcanzaron rangos normales ( $\geq 4$  ppm) según las tablas de fertilidad de AGROSAGI (2007).

En cuanto al boro sólo se presentó incrementos altamente significativos entre el muestreo inicial (0.3 ppm) y el final (valores entre 0.76 y 1.31 ppm), por efecto de los tratamientos, sin embargo, su contenido fue bajo para este suelo AGROSAGI (2007) (Anexo 7 y 8).

### **5.3 VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS**

Según los contenidos de arcilla, arena y limo determinados para los suelos de Florida y Manuelita su textura corresponde a Franco arcillosos que se caracterizan por ser finos con capacidad de retener humedad (Soil Survey Staff, 1975 citado por Montenegro y Malagón, 1990)

#### **5.3.1 Suelo de Florida**

La densidad aparente determinada en el muestreo inicial ( $1.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) mostró descensos altamente significativos con respecto al muestreo final, en especial con la relación 75:25 (Anexo 5). El ANDEVA ( $P < 0.05$ ) (Anexo 9 y 10) muestra que en último muestreo no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Los valores de densidad registrados son normales para este tipo de suelos, según Castro (1998). Resultados similares encontraron Tejada *et al.*, 2006 debido al incremento de la estabilidad estructural y la porosidad cuando se aplicó vinaza.

Investigaciones realizadas por Camargo *et al.*, 1983 mostraron que el uso de la vinaza no afectó la densidad y la porosidad total del suelo. Estos autores comprobaron que los incrementos se debían a la materia orgánica y no a los cationes ligantes como el calcio.

El índice de estabilidad al igual que la densidad aparente presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre muestreos siendo mayor el muestreo final. Se observó que entre los diferentes tratamientos que incrementaron esta

propiedad no hay diferencias significativas. Este cambio fue positivo por que permitió mayor velocidad de infiltración (Narro, 1994).

El diámetro medio ponderado presentó diferencias altamente significativas entre los muestreos efectuados (Anexo 9). Se presentó descensos de 0.9 a valores que van desde 0.6 a 0.8 indicando que por efecto de los diferentes tratamientos la estabilidad estructural del suelo tiende a disminuir siendo ligeramente estable (Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, 1991).

Algunos estudios realizados por Tejada y González (2006), Tejada *et al.*, 2006, y Tejada *et al.*, 2007, muestran que el estado de agregación del suelo se redujo por los altos contenidos de sodio presentes en la vinaza de remolacha, efectos positivos de agregación se evidenció cuando la vinaza fue compostada.

Según el ANDEVA realizado la porosidad presentó incrementos altamente significativos entre muestreos (46.1% a 53.5%) especialmente con la aplicación de la relación 75:25 (53.5%) y en menor proporción con vinaza (52,4%)(Anexo 9). En el muestreo final no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Este comportamiento es favorable porque circula mejor el aire, se infiltra el agua que se drena por la fuerza de gravedad y las raíces pueden avanzar adecuadamente (Primavesi, 1987)(Anexo 10)

Gemtos *et al.*, 1999, mostraron que la aplicación de vinaza en un cultivo de trigo no afectó la compactación del suelo por efecto de la aplicación de diferentes dosis en un periodo de cinco años. Los autores concluyen que el reciclaje de la vinaza es benéfica y puede llegar a sustituir la fertilización química usando un adecuado sistema de aplicación.

### 5.3.2 Suelo de Manuelita

A diferencia del Suelo de Florida, la densidad aparente cambió por efecto de la época de muestreo y de los tratamientos. Diferencias altamente significativas se encontraron entre muestreos, ya que su valor inicial se incrementó en especial con la vinaza pura (Anexo 11 y 12). En el muestreo final se encontraron diferencias estadísticas entre la relación 50:50 y los demás tratamientos. Aunque la densidad del suelo de Manuelita se encuentra dentro de un rango normal (1 a 1,8 g\*cm<sup>-3</sup> Castro, 1998, Narro, 1994) (Anexo 6), éste suelo tendió aparentemente a compactarse, reflejando disminuciones del espacio poroso, que incrementan la resistencia del suelo a la penetración (Narro, 1994).

Tejada *et al*, 2007 encontraron, que con la aplicación de altas dosis de vinazas incrementó la densidad del suelo, los mismos resultados encontraron Tejada y González, 2006 y Kay *et al*, 1997 estos autores atribuyen este efecto al contenido de sodio intercambiable.

Para el índice de estabilidad no se encontraron diferencias estadísticas manteniéndose estable durante todo el ensayo. Sin embargo, se aprecian ligeras disminuciones entre los valores obtenidos entre muestreos, especialmente con la relación 75:25, el efecto es negativo ya que permite una menor velocidad de infiltración, los agregados son menos resistentes, generalmente forman costras en la superficie del suelo (Anexo 11 y 12). Estudios realizados por Rojas (2007) muestran que la conductividad hidráulica de un suelo arenoso se afectó inversamente con la concentración de la vinaza. En general la inestabilidad de los agregados está asociada al tipo de arcilla, naturaleza de los productos de la descomposición de la materia orgánica, cationes asociados a los coloides y la naturaleza de la floculación microbiana (Narro, 1994, Tejada y González, 2003 y 2004).

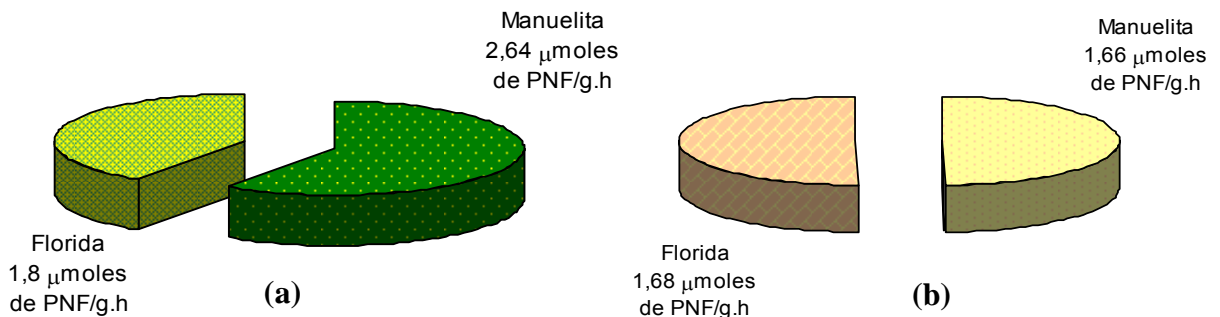
El diámetro medio ponderado al igual que el índice de estabilidad no presentó diferencias significativas entre los muestreos y tratamientos. Sin embargo, se observó descensos que significan inestabilidad estructural especialmente con KCl (rangos menores de 0.5 son considerados de baja estabilidad según la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1990, 2001). Este suelo en húmedo formó una masa, en este tipo de suelos el aire y el agua no pueden penetrar (Castro, 1998).

La porosidad presentó diferencias altamente significativas entre muestreos disminuyendo de 52.4% a valores que van desde 42.5 hasta 48.0% en el último muestreo afectando así las propiedades de aireación y contenido de humedad en el suelo. En el muestreo final la relación 50:50 disminuyó significativamente la porosidad en comparación de los demás tratamientos (Anexo 11 y 12).

## 5.4 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO

### 5.4.1 Fosfatasas

Según el ANDEVA ( $P < 0.05$ ) la actividad de las fosfatasas alcalinas en general fue significativamente mayor en el suelo de Manuelita (2.64  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ ) en comparación con el suelo de Florida (1.80  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ ) (Anexos 13 y 14); mientras que las fosfatasas ácidas fueron similares en ambos suelos Figura 6.

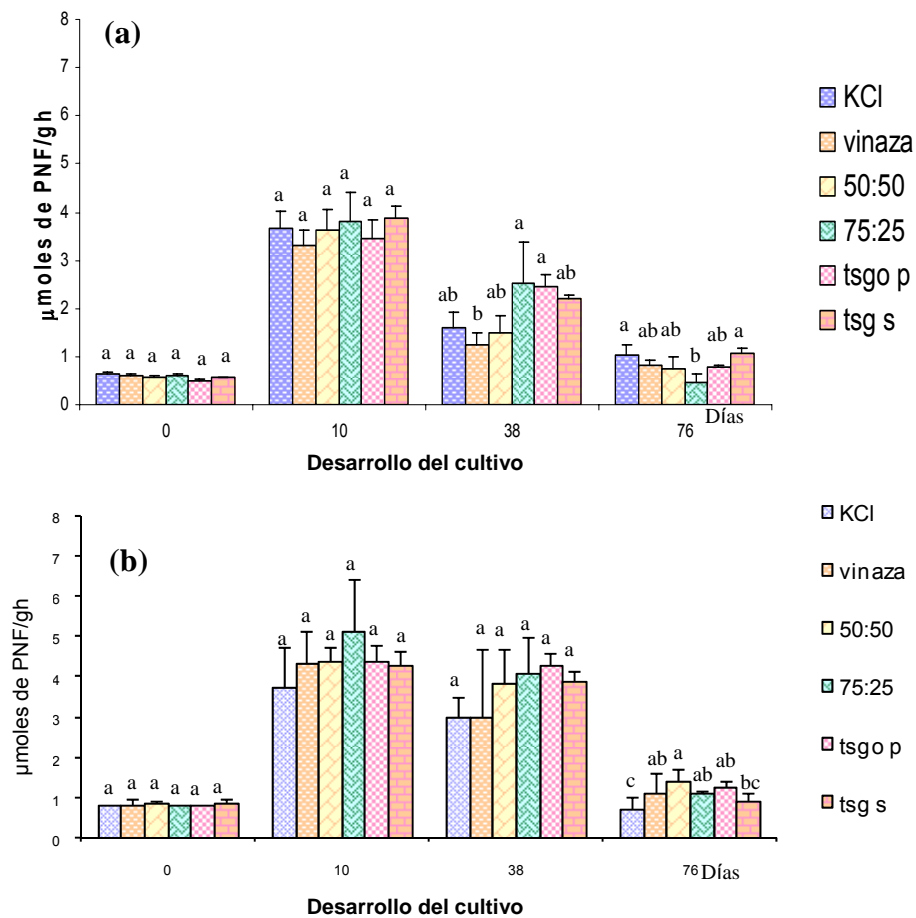


**Figura 6.** Actividad de fosfatasas en los suelos de Manuelita y Florida  
a) Fosfatasas alcalinas b) Fosfatasas ácidas

Al comparar las dos fosfatasas se observó que en general prevalecen las fosfatasas alcalinas para ambos suelos.

#### 5.4.1.1 Dinámica de las fosfatasas alcalinas en cada suelo

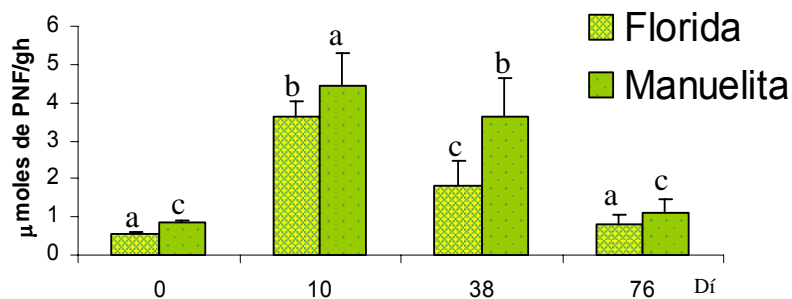
En la Figura 7 se observa el efecto de las diferentes fuentes de K sobre la actividad de estas enzimas para cada suelo. En general durante el tiempo del ensayo la actividad de las fosfatasas alcalinas en el suelo de Florida osciló en promedio entre 0.57 y 3.6  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$  y en el suelo de Manuelita entre 0.84 y 4.40  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ , en este último suelo se presentó mayor actividad como ya se mencionó anteriormente.



**Figura 7.** Actividad de fosfatasas alcalinas para cada suelo. **6.** suelo Florida **b)** suelo Manuelita.

En ANDEVA realizado para esta enzima ( $P < 0.05$ ) (Anexo 15) en el suelo de Florida muestra que en tercer y cuarto muestreo (3M y 4M), la vinaza (1.23  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ ) y la relación 75:25 (0.45  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ ) deprimieron significativamente la actividad enzimática en los respectivos muestreos. En el tercer muestreo el testigo planta y la relación 75:25 presentan diferencias significativas con la aplicación de vinaza 100% y en el cuarto muestreo la relación 75:25 se diferencia significativamente de la aplicación de KCl y el testigo suelo.

Para el suelo de Manuelita (Anexo 16) las diferencias significativas se presentaron en el cuarto muestreo, siendo el cloruro de potasio (0.73  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ ) el tratamiento que disminuyó en mayor proporción su actividad. Por el contrario la relación 50:50 (1.44  $\mu\text{moles de PNF/g.h}$ ) fue el tratamiento que en menor proporción disminuyó la actividad de las fosfatasas en comparación con los testigos que tuvieron un comportamiento similar a la aplicación de vinaza pura y la relación 75:25.



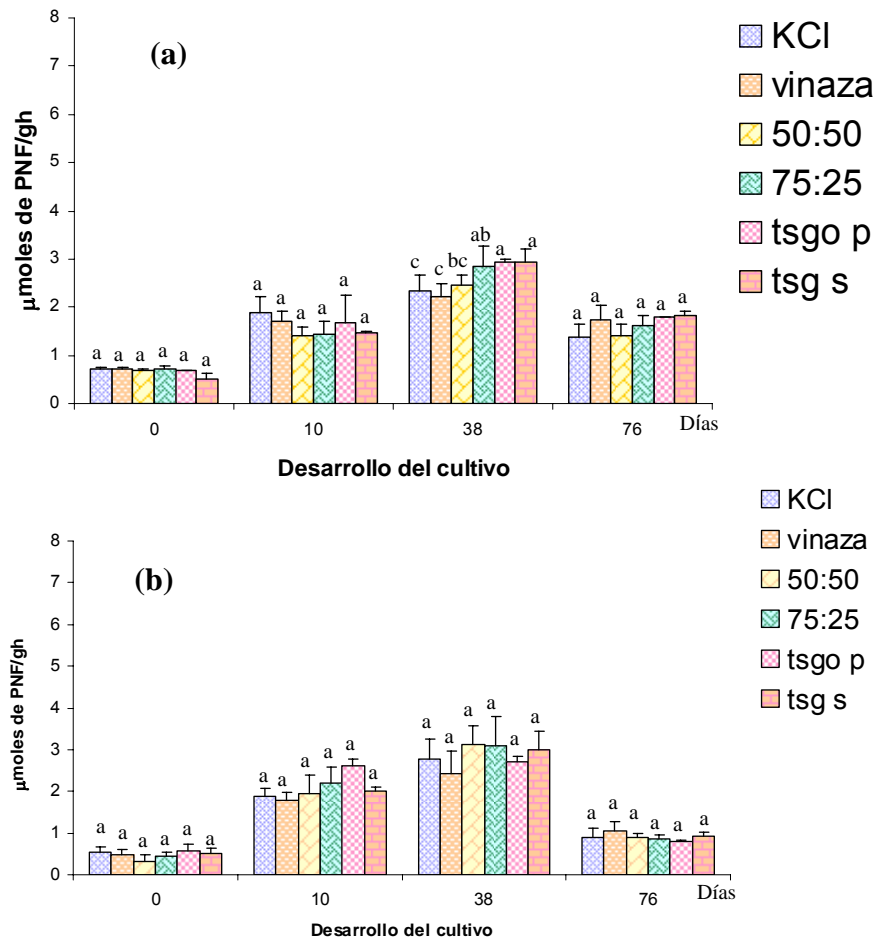
**Figura 8.** Actividad de las fosfatasas alcalinas en los suelos de Florida y Manuelita a través del tiempo.

La edad del cultivo también cambió la actividad enzimática en ambos suelos independientemente de los tratamientos, registrándose así valores bajos a los 0 DAS, luego se incrementó a los 10 días después de la siembra (DSS), en este periodo se encontraron los valores más altos para esta enzima. Posteriormente la actividad disminuyó a los 38 DSS y finalmente a los 76 DDS las fosfatasas alcalinas disminuyeron hasta casi alcanzar los valores iniciales. Además para

ambos suelos se presentaron diferencias significativas entre los 10 DDS y 76 DDS, mientras que, entre el primer y cuarto muestreo no (Figura 8).

#### 5.4.1.2 Dinámica de las fosfatasas ácidas en cada suelo.

En la Figura 9 se observa el efecto de las diferentes fuentes de potasio sobre la actividad de esta enzima para cada suelo. La actividad enzimática en el suelo de Florida osciló en promedio entre 0.67 y 2.62  $\mu$ moles de PNF/g.h y en Manuelita 0.47 y 2,85  $\mu$ moles de PNF/g.h. como ya se mencionó con anterioridad no se presentaron diferencias estadísticas en ambos suelos con respecto a esta enzima.

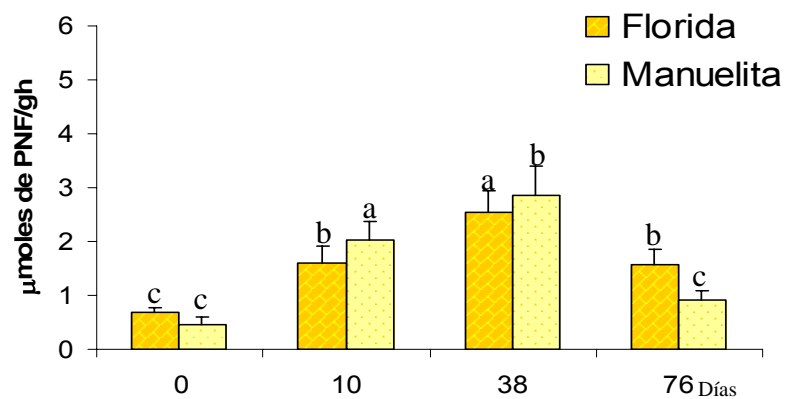


**Figura 9.** Actividad de fosfatasas ácidas para cada suelo.

a) suelo Florida b) suelo Manuelita.

Al realizar el ANDEVA (Anexo 15) para el suelo de Florida sólo se presentaron diferencias significativas en el tercer muestreo, la aplicación de vinaza y KCl 100% (2.33  $\mu$ moles de PNF/g.h y 2.23  $\mu$ moles de PNF/g.h respectivamente). Estos tratamientos disminuyeron la actividad de la enzima en comparación con los testigos, que presentaron los valores más altos (2.94 y 2.95  $\mu$ moles de PNF/g.h para el testigo planta y testigo suelo, respectivamente).

El ANDEVA (Anexo 16) para el suelo de Manuelita mostró que no hubo efecto de los tratamientos en cada muestreo pero es evidente las variaciones que se presentaron en el tiempo.



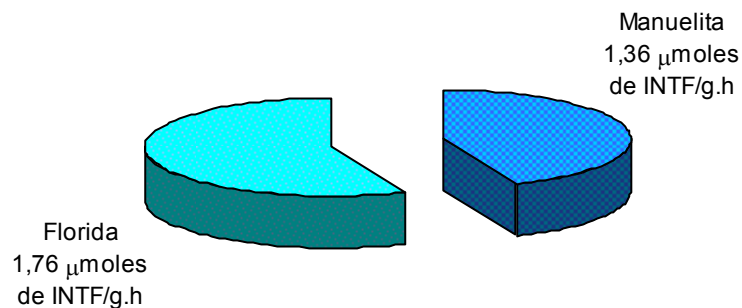
**Figura 10.** Actividad de las fosfatasas ácidas en los suelos de Florida y Manuelita a través del tiempo.

La actividad de ésta enzima en ambos suelos presentó un comportamiento similar al de las fosfatasas alcalinas ya que mostró incrementos pero en esta enzima se extendieron hasta los 38 DDS (en este muestreo se registraron los valores más altos de fosfatasas ácidas, etapa correspondiente a de época floración del cultivo), finalmente esta disminuyó a los 76 DDS hasta alcanzar valores cercanos a los obtenidos inicialmente.

El ANDEVA (Anexos 13 y14) mostró que para el suelo de Florida no se presentan diferencias significativas entre el segundo y cuarto muestreo, pero sí existen diferencias altamente significativas entre el primer muestreo y los demás tratamientos. En el suelo de Manuelita hay diferencias significativas entre el segundo y tercer muestreo, similares a las fosfatasas alcalinas (Figura 10).

### 5.4.2 Deshidrogenasas

El ANDEVA ( $P < 0.05$ ) muestra que la actividad de las deshidrogenasas fue mayor en el suelo de Florida y menor en el suelo de Manuelita Figura 11. (Anexo 13 y 14)

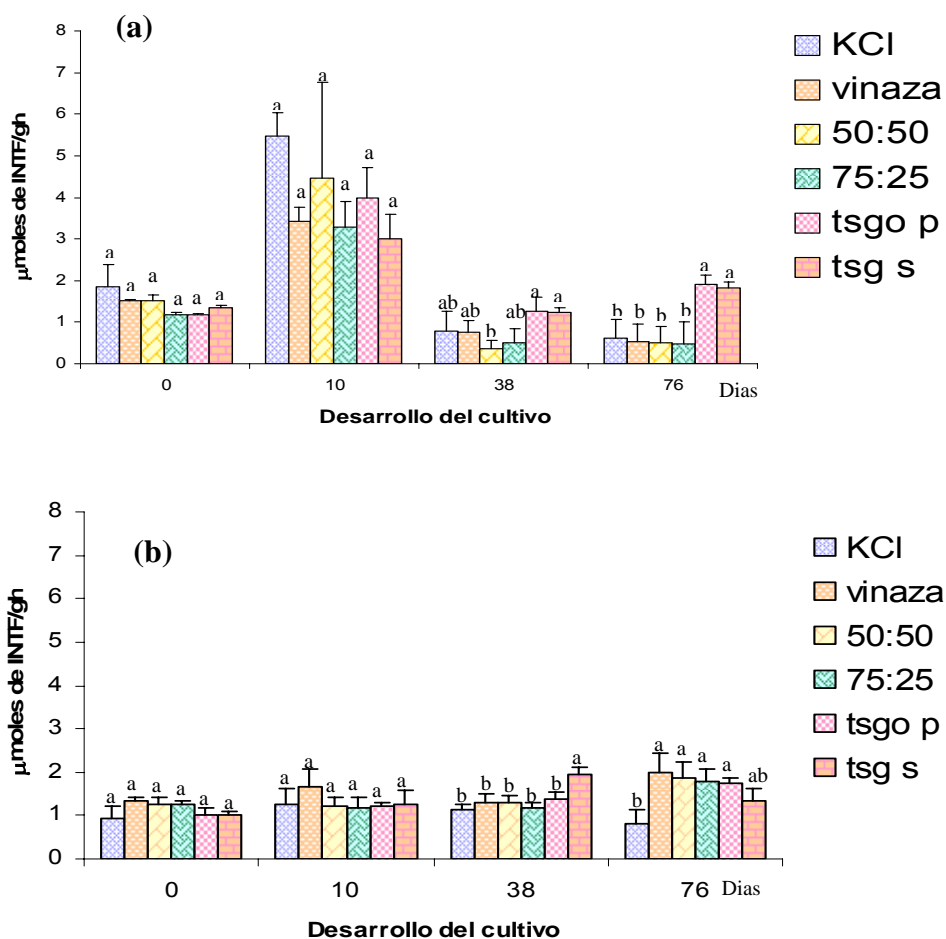


**Figura 11.** Actividad de Deshidrogenasas para los suelos evaluados

#### 5.4.2.1 *Dinámica de la actividad de deshidrogenasas en cada suelo*

En la Figura 12 se observa el efecto de los diferentes tratamientos sobre la actividad de ésta enzima para cada suelo.

La actividad enzimática osciló en promedio entre 0.83 y 3.93  $\mu\text{moles de INTF/g.h}$  en el suelo de Florida y en Manuelita entre 0.8 y 1.8  $\mu\text{moles de INTF/g.h}$ , siendo mayor Florida como ya se mencionó con anterioridad.

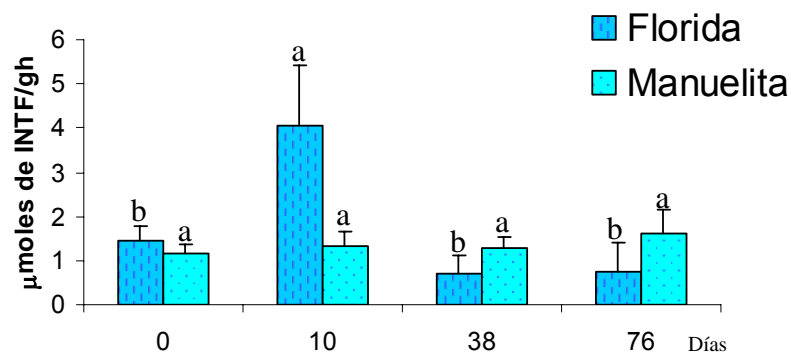


**Figura 12.** Actividad de las deshidrogenasas para cada suelo  
**a)** suelo Florida **b)** suelo Manuelita

El ANDEVA realizado para el suelo de Florida (Anexo 15) ( $P < 0.05$ ) mostró que hubo diferencias significativas entre el tercer y cuarto muestreo. En el tercer muestreo la aplicación de la relación 50:50 ( $0.3784 \mu\text{moles de INTF/g.h}$ ) disminuyó significativamente la actividad de esta enzima en comparación con los testigos (testigo suelo  $1.25 \mu\text{moles de INTF/g.h}$  y testigo con planta  $1.24 \mu\text{moles de INTF/g.h}$ ). En el cuarto muestreo todos los tratamientos presentaron diferencias

significativas con los testigos, en estos últimos se disminuyó en menor proporción la actividad de esta enzima (testigo suelo 1.83  $\mu$ moles de INTF/hg y testigo con planta 1.92 $\mu$ moles de INTF/g.h).

El ANDEVA realizado para Manuelita (Anexo 16) mostró similitudes con Florida al presentarse diferencias significativas a los 38 y 76 DDS. En el tercer muestreo todos los tratamientos incluido el testigo planta presentaron diferencias significativas con el testigo suelo (1.9  $\mu$ moles de PNF/g.h), y en el último muestreo sólo la aplicación del KCl (0.8  $\mu$ moles de PNF/g.h) disminuyó significativamente las deshidrogenasas.



**Figura13.** Actividad de las deshidrogenasas en los suelos de Florida y Manuelita a través del tiempo.

Al evaluar las deshidrogenasas se puede observar que cada suelo presentó tendencias diferentes. En el suelo de Florida es baja a los en el muestreo inicial (0DAS), luego se incrementó a los 10 DDS y disminuyó a los 38 DDS (época de floración) y se mantuvo así hasta los 76 DDS. En este suelo sólo en el 2M se presentaron actividades significativamente altas en comparación con los demás muestreos. En el suelo de Manuelita no se presentaron variaciones en ningún muestreo, su actividad fue estable y baja durante todo el ensayo (Anexo 13 y 14).

## 5.5 ACUMULACIÓN DE BIOMASA

En la Tabla 11 se recogen los valores de acumulación de biomasa del cultivo de maíz dulce en los suelos evaluados.

**Tabla 11.** Acumulación de biomasa seca en cultivos de maíz dulce en el suelo de Florida y Manuelita sometidos a diferentes fuentes de potasio

SUELO	TRATAMIENTO	BIOMASA	ALTURA	LONGITUD DE RAÍZ
		Kg. Ha <sup>-1</sup>	m	Cm
Florida	100% KCl	30450 (ab)	1.38 (a)	15.95 (a)
	100% vinaza	33372.2 (a)	1.48 (a)	16.48 (a)
	50% vinaza + 50% KCl	25608.9 (ab)	1.45 (a)	15.07 (a)
	75% vinaza + 25% KCl	19895.6 (bc)	1.40 (a)	14.46 (a)
	Testigo	6017 (c)	1.09 (a)	10 (a)
Manuelita	100% KCl	21016 (a)	0.83 (a)	13.46 (a)
	100% vinaza	12128 (a)	0.44 (a)	6.40 (a)
	50% vinaza + 50% KCl	18457 (a)	1.00 (a)	12.36 (a)
	75% vinaza + 25% KCl	15824 (a)	0.74 (a)	8.98 (a)
	Testigo	12111(a)	0.44 (a)	5.2 (a)

La biomasa seca varió dependiendo del tipo de suelo al igual que las propiedades fisicoquímicas y biológicas. Se observa que el cultivo de maíz sembrados en el suelo de Florida acumuló más biomasa (30450 Kg.Ha<sup>-1</sup>), adquirieron mayor altura y longitud de raíz que las sembradas en el suelo de Manuelita (15905 Kg.Ha<sup>-1</sup>).

Al realizar el ANDEVA para el suelo de Florida se encontró que existen diferencias significativas entre el testigo (6017 Kg.Ha<sup>-1</sup>) y la aplicación de vinaza (33372.2 Kg.Ha<sup>-1</sup>) siendo este el tratamiento que presentó mayor biomasa, en tanto que la relación 75:25 (19895.6 Kg.Ha<sup>-1</sup>) fue la de menor valor. Con respecto al a la altura y la longitud de la raíz de la planta no se registraron diferencias significativas entre tratamientos.

En Manuelita la biomasa seca fue menor que la de Florida y el ANDEVA mostró que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y el testigo, similares resultados se encontraron para la altura y la longitud de raíz.

## **5.6 CORRELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS y QUÍMICAS DE LOS SUELOS Y LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.**

Con el fin de evaluar la correlación estadística entre algunas propiedades física y químicas y la actividad enzimática de los suelos, se realizaron correlaciones simples y de Pearson ( $p < 0.05$ ), los resultados indican que no se presentó ninguna relación con las variables analizadas. Por el contrario, Sánchez de P (2003) encontró correlaciones altamente significativas entre la actividad enzimática con la materia orgánica del suelo, densidad aparente y la porosidad total en cultivos de maracuyá. Bolaños (2006) en cultivos de plátano encontró correlaciones de las fosfatasas ácidas con algunos nutrientes del suelo, mientras que fosfatasas alcalinas mostraron relación estrecha e inversa con K, directa y significativa con Mg y muy significativamente con B.

Críquet *et al.* (2004) no encontraron correlación entre actividad enzimática de fosfatasas y otras variables evaluadas como el contenido de P en el suelo, relaciones que aparentemente son evidentes, pero no siempre detectables.

## **5.7 DISCUSIÓN GENERAL**

Los contenidos de nutrientes que presentó la vinaza dependen en gran medida del ingenio productor y de su concentración. Su potencialidad como fertilizante esta asociada al tipo de suelo donde sea aplicada y sus efectos son consecuencia de la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas. El uso de algunos indicadores de corto tiempo dan una idea de los procesos que se pueden llevar a cabo en dichas interacciones, sin embargo, para comprender aún más sobre esta

se requieren realizar otras investigaciones que abarquen periodos más largos de evaluación en el campo.

En general los suelos de Florida y Manuelita no presentaron deficiencia de nutrientes para la producción de maíz, el K inicialmente fue un limitante ya que dicho cultivo puede extraer grandes, (valor crítico 0.2 meq/100 g de suelo León, 2001 citado por Ángel, 2008), que con la aplicación de las distintas fuentes de K la aminoraron elevando su contenido, pero que disminuyeron la relación Ca:Mg:K. Otros cambios importantes se registraron para ambos suelos, tales como descensos en el pH e incrementos en los contenidos de Ca, CIC y B. Las demás variables químicas presentaron efectos según la fuente utilizada y el tipo de suelo. Conversaciones con Mosquera (2008)\* permitieron establecer que las altas concentraciones de algunos parámetros químicos evaluados pueden estar muy influenciadas por las fuentes que no alcanzaron su completa degradación en el suelo.

Las propiedades físicas al igual que las químicas variaron según el tipo de suelo. En Florida se disminuyó la densidad aparente, se incrementó el índice de estabilidad, el diámetro medio ponderado y la porosidad. Estos cambios fueron favorables porque no limitaron físicamente el desarrollo del cultivo. Mientras que en Manuelita los cambios fueron negativos porque se incrementó la densidad aparente y disminuyeron los demás parámetros evaluados desfavoreciendo el crecimiento radical que puede verse limitado por la falta de O<sub>2</sub>, absorción de nutrientes y agua, la penetración y exploración del suelo. Algunas conversaciones con Castillo (2008)\* revelaron que la evaluación de las propiedades físicas realizadas en el invernadero en tan corto tiempo no son las más adecuadas, puesto que estas variables presentan cambios significativos en largos periodos de

---

\* Octavio Mosquera, Ing A. Director del Laboratorio de Análisis de suelos del CIAT.

\* Jesús Castillo Franco. Ing A. MsC. PhD en suelos. Docente Universidad de Nariño

tiempo, además se pueden subestimar por el efecto de reordenamiento de las partículas.

Con respecto a la actividad enzimática, en general se presentó más fosfatasas alcalinas en el suelo de Manuelita, que en el de Florida debido a la influencia del pH, (Manuelita suelo alcalino y Florida ácido). Es así como la síntesis, actividad y la estabilidad de las fosfatasas esta relacionada con el pH del suelo, ya que usualmente en suelos ácidos predominan fosfatasas ácidas y en suelos alcalinos ó neutros las fosfatasas alcalinas son dominantes. (Speir and Ross, 1978; Dick *et al.*, 2000; Dick and Tabatabai, 1993; Tabatabai, 1994; Schinner *et al.*, 1995; George *et al.*, 2002, Renella *et al.*, 2006). Algunos autores explican este comportamiento por la composición de la .microflora (Tiedje *et al.*, 2001, Renella *et al.*, 2006) Sin embargo la relación entre la comunidad microbiana y la actividad enzimática en los suelos aún no esta muy claro. (Nannipieri *et al.*, 2003).

Dentro de los tratamientos la aplicación de vinaza disminuyó la actividad de las fosfatasas en comparación con los demás tratamientos. Resultados encontrados por Goyal *et al.* (1993), Pascua *et al.* (1998) citados por Tejada *et a.* (2006) indican que la incorporación de estas enmiendas orgánicas influye sobre la actividad enzimática porque puede estimular dicha actividad.

Aunque en la literatura no se registran tablas que permitan estimar si la actividad de fosfatasas es alta o baja, en general, se puede afirmar que la actividad de las fosfatasas para los dos suelos evaluados es baja en comparación a lo registrado en la literatura, donde han encontrado valores superiores a 20  $\mu$ moles de PNF Caravaca *et al.* (2002), Barroti y Nahas (2003), Sánchez (2003), Yoshioka (2005), Bolaños (2006), Tejada *et al.* (2006), Mijangos *et al.* (2006), García *et al.* (2006)

Los bajos contenidos obtenidos de esta enzima pueden se atribuidos a contenidos altos de fósforo en el suelo que pueden inhibir los mecanismos de acción de la

enzima al existir una mayor disponibilidad de nutrientes en forma lábil en el suelo. (Zamora, 2003). En este ensayo, el suelo de Florida presentó 50 ppm y Manuelita 38.8 ppm clasificados como alto y normal respectivamente. Estudios similares encontraron Zamora *et al.* (2005) en cultivos de tomate cuya disponibilidad de P oscilaba en el rango de 43 a 55 ppm de fósforo. Estos autores dicen que altas dosis de fertilizantes fosfatados podrían a largo plazo suprimir la secreción de enzimas que actúan sobre el fósforo orgánico.

Un efecto importante evidenciado en el ensayo es el rizósferico realizado por las planta de maíz que implico más actividad de fosfatasas alcalinas en el cual hay coincidencias con George *et al.*, 2002. La edad de la planta afectó la actividad enzimática y se ve reflejada en los incrementos presentados a los 10 DDS para las fosfatasas alcalinas y 38 DDS para fosfatasas ácidas (época de floración).

La mayor persistencia después de liberarse las fosfatasas alcalinas. (Renella *et.*, *al* 2006) y la estimulación que ejercen la raíz, la edad fonológica de la planta y los hongos del suelo (Tabatabai, 1994) puede explicar la prolongación de las fosfatasas ácidas en el tercer muestreo.

Al respecto Yoshioka (2005) y Bolaños (2006), encontraron que la actividad de las fosfatasas alcalinas se incrementó con la edad de la planta en cultivos de plátano, mientras que las fosfatasas ácidas predominaron en los seis meses después de la siembra donde culmina la fase vegetativa. Sánchez de P (2003) reporta la actividad de fosfatasas ácidas en cultivos de maracuyá en la cual fue mayor en plantas de 6 a 10 meses de edad y fue menor en aquellas más de 11 meses.

Con respecto a las deshidrogenasas Florida presentó mayor que pueden estar relacionadas con las características físicas que posee, es decir presentar mejores condiciones de aireación, que Manuelita.

Tejada y González (2006) señalan que la degradación de la estructura del suelo como es el caso de Manuelita puede incrementar la densidad aparente y favorecer condiciones anaeróbicas que además de disminuir la actividad de la biomasa microbiana del suelo, afecta el estatus metabólico y la producción de enzimas de las células. Además la reducción de la porosidad significa una inadecuada distribución de los agregados que alteran la difusión del oxígeno Tate (2002). Al respecto Riffaldi *et al.* (2002) encontró una correlación negativa entre esta enzima y las condiciones de aireación debidas al manejo de los suelos.

Es así entonces que la actividad de esta enzima depende más del tipo de suelo que del sistema de cultivo (Perucci *et al.*, 1997 citado Hernández *et al.*, 2003), ya que la distribución espacial de los microorganismos y la mesofauna pueden estar parcialmente asociados con la distribución de los agregados. (Jastrow y Millar, 1991, Tejada *et al.*, 2006) indican que el incremento de la biomasa microbiana es bajo si el suelo es inestable

Ahora bien en general la aplicación de KCl en el suelo de Florida estimuló la actividad de esta enzima, mientras, que en Manuelita se disminuyó. Estudios realizados por Pathak and Rao, 1998, Chandra *et al.*, 2002, muestran que bajas concentraciones de este pueden estimular el crecimiento y la actividad microbiana, mientras que altas dosis pueden ser tóxicas para los organismos.

Chandra *et al.*, 2002, evaluaron las aplicaciones de cloruro y sulfato de potasio encontrando que los procesos de nitrificación y mineralización del carbono fueron más bajos cuando se usó cloruro en comparación con el sulfato, además indican que cuando se aplicó vinaza oxidada el porcentaje mineralización en comparación con el de las sales, se incrementó. Esto puede explicar probablemente el hecho de que la vinaza no afectó la actividad enzimática en el suelo de Manuelita.

Tejada *et al.*, 2006, evaluaron el efecto de la aplicación de vinaza de remolacha aplicada en fresco y compostada. Encontraron que durante cada estación la actividad enzimática disminuyó. Pascua *et al.*, 1998, explica que puede presentarse muerte microbiana porque el sustrato disponible no fue capaz de sostener la biomasa microbiana o los complejos de la enzima intracelular se degradaron por los microorganismos que habitan los suelos.

Algunos estudios relacionados con la aplicación de enmiendas orgánicas indican que pueden incrementar la actividad de las enzimas en el suelo, a menos de que estas contengan ciertos contaminantes como metales pesados o compuestos orgánicos tóxicos en concentraciones inhibitorias (Frankenberger *et al.*, 1983, Bonmati *et al.*, 1995 citado por Acosta, y Paolini, J. 2005). Esos mismos autores y Bääth, 1989 señalan que estos compuestos contaminantes afectan negativamente la composición y la actividad de la microflora del suelo.

Otros factores que afectan los mecanismos de acción de las deshidrogenasas es la posibilidad de la acumulación de compuestos xenobióticos (productos para la aplicación de pesticidas para combatir plagas e insectos) que inhiben las poblaciones microbianas a mediano y a largo plazo conduciendo a una degradación biológica del suelo (Duah-Yentumi y Johnson 1986). Este hecho puede explicar los bajos contenidos de esta enzima para los suelos evaluados por la historia de manejo de los dos suelos evaluados (Florida siembra de maíz y Manuelita monocultivo de caña)

Con relación al cultivo, la manera más eficiente de determinar la disponibilidad de nutrientes del suelo es midiendo el crecimiento de la planta como respuesta a la fertilización en el campo (Marschner, 1995). En este sentido, la acumulación de biomasa seca al igual que la actividad enzimática fue influenciada por el tipo de suelo y las propiedades fisicoquímicas y biológicas. Suelos con altos contenidos de materia orgánica favorecen el crecimiento de del maíz dulce, característico en

Florida (Kline citado por Fhia, 2000 y Robayo 2006). Al respecto Paul & Clarck (1989) citado por Montenegro, 2008 muestran que la MO presentó correlación positiva con el crecimiento y productividad de las plantas.

La producción y la calidad de la biomasa del cultivo de maíz varían en función del ambiente al que estuvo sometido, de las prácticas de manejo, del estado de madurez a la cosecha y del híbrido que pueden presentar bajos rendimientos de biomasa por su porte pequeño (Di Nucci, y Díaz, 2007, Elizondo & Boschini, 2002 citado por Robayo, 2006). En este estudio se evaluó como ya se dijo con anterioridad un híbrido GSS 4644 de porte pequeño.

En general los procesos de mineralización, inmovilización, fijación de nitrógeno entre otros son llevados a cabo por reacciones enzimáticas (Coyne, 2000), afectando así la toma de nutrientes y por ende el crecimiento de la planta. Por tanto la habilidad del suelo para soportar la vegetación, depende principalmente de su adecuación como medio para el crecimiento de raíces (Kramer, 1983 citado por Ñuñes y Bisbal, 1999). Por su parte, la habilidad de la raíz para encontrar espacio en el cual crecer o forzar su camino en el suelo, es a veces factor influyente para el crecimiento de la planta (Russell, 1973).

Las limitantes debido a condiciones de compactación a profundidades del suelo, combinado con altas fluctuaciones del contenido de agua y temperatura del horizonte superficial del suelo, puede resultar en mayor susceptibilidad del cultivo a la aireación y a un estrés de humedad o nutrimentos (Materchera *et al.*, 1993). Manuelita fue el suelo que presentó problemas de compactación limitando la profundidad efectiva de la raíz, hecho que limitó la toma de nutrientes (Herrera 1998, citado por Robayo 2006) y que se expreso negativamente en los valores de materia seca.

En general, se comprobó que la aplicación de diferentes fuentes de potasio, a partir de cloruro de potasio, vinaza y la combinación de ambos afectó las condiciones fisicoquímicas y biológicas de los suelos. Además la expresión de las enzimas fosfatasas alcalinas, fosfatasas ácidas y deshidrogenasas varían dependiendo de las condiciones de suelo, edad de las plantas y en algunos casos de la fuente utilizada.

## 6 CONCLUSIONES

- En ambos suelos la aplicación de las diferentes fuentes de potasio (KCl y Vinaza) disminuyeron significativamente el pH y la relación Ca+Mg/K, mientras que los contenidos de K y B fueron incrementados. En el suelo de Florida, el P y Cu se aumentaron y en Manuelita se incrementaron Fe y Na se incrementaron sin alcanzar niveles tóxicos. El Fe se incrementó significativamente con la aplicación de vinaza.
- La densidad aparente presentó cambios altamente significativos con tendencias diferentes dependiendo del tipo de suelo. En Florida disminuyó mientras, que en Manuelita aumentó afectando la porosidad y el movimiento de agua en el suelo.
- Las fosfatasas ácidas presentaron su máxima actividad a los 38 días después de la siembra (DDS) del maíz y no hubo diferencias entre suelos. Las fosfatasas alcalinas se incrementaron a los 10 DDS y fueron mayores en Manuelita. La mayor actividad de deshidrogenasas ocurrió en el suelo de Florida, esta enzima mostró la existencia de problemas de aireación y de actividad metabólica en el suelo de Manuelita.
- La biomasa vegetal fue significativamente mayor en Florida. Los resultados señalan respuestas diferentes dependiendo del tipo de suelo y la importancia de estudiar las particularidades en la respuesta de los suelos a la aplicación de vinaza.

## 7 RECOMENDACIONES

- Evaluar la aplicación continuada de vinaza y su efecto en los contenidos de sodio en el suelo.
- Realizar investigaciones en campo con periodos de tiempo más prolongados.
- Evaluar aplicaciones de diferentes vinazas según su procedencia y concentración al suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA Y PAOLINI, J. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo Calciotids enmendado con residuos orgánicos. *Agronomía Tropical* V 55 No Maracay ISSN002-192X sp.

ACOSTA, V. CRUZ, L., SOTOMAYOR, D., PEREZ, L. 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Science Applied Soil ecology* pp 35-45.

AGROSAGI, 2007 Tablas de fertilidad para la interpretacion de análisis de suelos sp.

ALEF, K. 1995. Soil Respiration. In: *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Great Britain. 214- 219 p.

ALEF, K. y Nannipieri, M. 1995. Estimation of microbial activities: Dehydrogenase activity. En: *Methods in Applied Soil Microbiology and biochemistry*, Academic Press, London, pp. 228-231.

ALFARO, Y; BEJARANO, A. 2003. El maíz dulce en Venezuela. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias CENAIAP. Venezuela. p 15.

ÁNGEL, D. 2008 Determinación de fracciones de fósforo y sus posibles cambios después de la aplicación de residuos de alcohol carburante (Vinaza) en 2 suelos del Valle del Cauca. Tesis de Maestría Ciencias agropecuarias Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. pp 130.

BÄÄTH, E. 1989 Effects of heavy metals in soil on microbial processes and population (review) *water, air Soil Pollution* 47: 335-339.

BARROTI, G. Y NAHAS, E. 2003 El fósforo y el encalado sobre las Fosfatasas y la producción de *Braquiaria razizensis* y *Cajanos Cajan* *Agronomía Trop.* V 53 No2 Maracay 15p.

BENKE, M., MERMUT, R., SHARIATMADARI, H. 1999 Retention of dissolved organic carbon from vinasse by a tropical soil, kaolinite, and Fe-oxides *Geoderma* 91 pp. 47-63.

BERÓN, G. 2006 Usos alternativos de las vinazas de acuerdo con su composición química. Nota técnica. *Tecnicaña* pp 1-3.

BOLAÑOS, M. 2006. Evaluación de actividad enzimática (deshidrogenasa, proteasa, fosfatasa y arilsulfatasa) en la rizosfera de plátano Musa AAB: relación con propiedades de un andisol. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. pp 230.

BURBANO, H. 1989. El suelo, una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Universidad de Nariño, Pasto. 456 p.

BURNS, S. F. 1982. Enzyme activity in soil. Location and possible role in microbial ecology. En Soil Biology and Biochemistry. Vol 14, pp 423-427.

CAMARGO, O. A; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R.N. 1983 Características químicas e físicas de solos que receberam vinhaça por longo tempo. Campinas, Instituto Agrônômico,.. (Boletim Técnico, 76), 30 p.

CARAVACA, F.,MASCIANDRO, G., CECCANTI, B. 2002. Land use relation tos oil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. Soil & Tillage Research 68 p 23-30.

CARTAYA, L; ORTIZ, L.; BEJARANO, A. 1998. Características físicas y químicas de los granos de maíz dulce de las variedades "pajimaca" y "riqueza" durante el proceso de maduración. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. . p 62.

CASTILLO, J. 2008 Comunicación oral.

CASTRO, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas manual técnico. Instituto universitario Juan de Castellanos Tunja pp 179.

CERON, L., MELGAREJO, L. 2005 Enzimas del suelo: Indicadores de salud y Calidad acta Biológica Colombiana Vol 10 No1: 5-17.

CIAT, 2007 Tecnologías modernas para alimentación animal: uso de efluentes agroindustriales de plantas de procesamiento de caña de azúcar y yuca en suplementos nutricionales CIAT –CLAYUCA -Palmira, Marzo 21 Presentación en power point.

CHANDRA, S., JOSH, H., PATHAK, M. CJAIN, C., KALRA, N. 2002 effect of potassium salts and distillery effluent o carbon mineralization in soil. Elsevier Science Bioresource Technology 83:255-257.

COYNE, M. 2000. Microbiología del suelo, un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo, España. 416p.

CRIQUET, S., FERRE, E., FARNET, A. M., LE PETIT, J. 2004. Annual Dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter: influence of biotic and abiotic factors. En: Soil Biology and Biochemistry. Vol. 36, pp. 1111 – 1118.

DEMONT, M.; TOLLENS, E. 2004. First impact of biotechnology in the EU: Bt maize adoption in Spain. Ann. Appl. Biol. 145: 197-207.

DICK, W. CHANG, L. WANG, P. 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators Soil Biology & Biochemistry 32:1915-1919.

DICK, W. Y TABATABAI M. A. 1993. Significance and Potencial Uses of Soil Enzymes. En: Soil Microbial Ecology. Applications in agricultural and environmental management. F. Blaine Metting, Jr. Marcel Decker Inc. New York. Pp. 95-127.

DI NUCCI de BEDENDO E., DÍAZ M.G. 2007. Producción de Forraje y Calidad de Silaje de Híbridos de Maíz en el oeste de Entre Ríos (Campaña 2006/07) sp [www.inta.gov.ar/PARANA/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/evaluacion\\_manejo/10214\\_070830\\_prod.htm](http://www.inta.gov.ar/PARANA/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/evaluacion_manejo/10214_070830_prod.htm)

DUAH-YENTUM, S., JONSON, D. 1986 Changes in soil microflora in response to repeated applications of some pesticides Soil Biol Biochem 8:629-635.

ESPAÑA, M.; RODRÍGUEZ, B.; CABRERA, E. CECANTI, B. 2001 actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. Terra 20: 81-86.

FERNANDEZ, S Y RAMIREZ, R. 2001. Efecto del sistema radical de siete líneas de maíz en los cambios de pH de la rizosfera y su influencia en la disponibilidad de fósforo. Bioagro 13 (1): 3-9.

FHIA. 1999. maíz dulce variedad FHIA-25. Fundación Hondureña de investigación Agrícola FHIA. Honduras. p 46.

GARAVITO, F. 1979 Propiedades químicas de los suelos. IGAC Subdirección Agrologica, Bogotá. 131 p.

GARCÍA, A., ROJAS, C. 2006. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Nota Técnica Técnicaña. pp 1-8.

GEORGE, T. GREGORY, D., WOOD, M. RIAD, D. AND BURESH, R. 2002. phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. Soil Biology & Biochemistry 34:1487-1494.

GEMOTS, T. A.; CHOULIARAS, N.; MARAKIS, ST. 1999 Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop. J. Agric. Engng Res. Vol 73 pag 283-296. www.idealibrary.com.

GIANFRENDA, L Y BOLLAG, J. 1996. Influence of Natural and Antropogenic Factors on Enzyme Activity in soil. In: Soil Biochemistry. Volumen 9. USA. 123-193 p.

GLORIA, N. A.; ORLANDO, F. 1983 Aplicacao de vinhaca como fertilizante. Boletim Técnico Planalsucar Piracicaba (Brasil). V. 5 (1); pp. 5-38.

GONZÁLEZ, O.; SÁNCHEZ DE P., M.; MIRANDA, J.; MUÑOZ, J. 2002. Actividad de esterases en rizosfera de maracuyá (*Pasiflora edulis var, floricarpa*) en diferentes estados de desarrollo y condiciones sanitarias. Memorias del XXIII Congreso ASCOLFI. Nuevas tendencias en Fitopatología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Julio 3-6/2002. pp 38.

GUERRERO, F.; GASCO, G.; SALVO, M.; MARTINEZ, F. y URBANO, P. 2004a. Efecto de la vinaza azucarera sobre la mineralización del carbono y del nitrógeno de dos suelos. Suelos Ecuatoriales volumen 34. p 141-144.

GUERRERO, F.; GASCO, G.; SALVO, M.; MARTINEZ, F. y URBANO, P. 2004b Evolución de la fracción humificada de dos suelos a los que se les adicionan diferentes dosis de vinaza azucarera y paja de cereal. Suelos Ecuatoriales. Volumen 34. p 155-158.

HERNÁNDEZ, W., ROJAS, J., RIVERO, C., CENTENO, A PAOLINI, J. 2003 Efecto de tres sistemas de labranza de un suelo cultivado con maíz (*Zea Mays L.*) Rev. Agrom, Maracay 29:171-18.

INTA. 2001. Horticultura "maíz dulce". Instituto Nacional de Tecnologías Agrícolas INTA, Argentina. p 5.

IGAC, CVC 2004. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento de valle del Cauca 2004. 775 p.

IUPAC, IUB, 1979. Enzyme Nomenclatura; Recommendations of the nomenclatura comité of the Internacional Union of Biochemistry; on the nomenclatura and classification of enzymes. London 569 p.

JASTROW, J. AND MILLER, 1991 Methods for assessing the affects of biota on soil Structure Agric Ecosyst Environ 34:279-303.

KAY, B. D.; DA SILVA, A. P.; BALDOCK, J. A. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: prediction using pedotransfer functions. *Can. J. Soil Sci.* 77, 655 – 667.

KORNDÖRFER, G.; NOLLA, A.; LARA, W. WALDO A. R. 2004. Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo Memorias seminario “vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible” Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Palmira. Sp.

KORNDÖRFER, G.H; ANDERSON, D. 1997. Use and impact of sugar-alcohol residues vinasse and filter cake on sugarcane production in Brazil. *Sugar y Azucar.* Englewood Cliffs, NJ. n.92, v.3, pp.26-35.

LAVELLE, P. Y SPAIN, A. 2001. Soil organisms. General Features. En: *Soil Ecology.* Kluwer Academia Publishers. Netherlands. 654 p.

LENHINGER, A. L. 2004. Principles of Biochemistry. Fourth Edition. W. H. Freeman & Company. New York. 1119 p. ISBN: 0-87901-009-6.

LIMA, I.T. 1980 Efeitos da aplicação de vinhaça sobre a microflora do solo. Seropédica,.. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. pp 100.

LOTERO, L. 2006 Efecto de la aplicación de vinaza y bovinaza sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, en el establecimiento y producción inicial de forraje de maralfalfa *pennisetum sp* en suelos del municipio de Popayán, Cauca. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias énfasis Suelos Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 150p.

MALAGON, D. Y MONTENEGRO, H. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Bogota. P. 88.

MARTÍNEZ, A.; CARAÑO, M.; LOPEZ, L. 2001 Actividad biológica en un transecto altitudinal de suelos de la Malinche, Tlaxcala. *Terra* 20: 141-146.

MARSCHNER H 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants, Ed 2. Academic Press, London. P 889.

MATERECHERA, S. A.; A. M. ALSTON; J. M. KIRBY and A. R. DEXTER. 1993. Field evaluation of laboratory techniques for predicting the ability of roots to penetrate strong soil and of the influence of roots on water sorptivity. *Plant and Soil* 149:149-158.

MATTIAZZO M E; DE GLORIE N S 1987 effects of vinasse on soil acidity. Water Science Technology, 19 p193-1296.

MIJANGOS, I., PÉREZ, R. ALBIZU, I., GARBISU., C. 2006 effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. Enzyme and microbial technology Science Direct 40 p 100-106.

MONTENEGRO, S. 2008 Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en el cultivo de maíz dulce (*zea mays*) Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias énfasis Suelos Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 113p.

MORALES, 2004. Identificación de compuestos orgánicos en vinaza. En memorias de seminario "vinaza, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible" SCCS. Palmira, mayo 13-14, pp1-39.

MORALES, A. 2000. Extracción e identificación de compuestos orgánicos en vinaza. Universidad del Valle postgrado en Química Orgánica, Santiago de Cali. pp 110.

MOSQUERA, 2008. Comunicación oral.

MOTTA *et al*, B. 1990. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos IGAC, Bogotá pp 4 -6.

NANNIPIERI, P. Y LANDI, L. 1999. Soil Enzymes. In: Handbook of soil Science. USA. C 129-C137 p.

NANNIPIERI, P. ASCHER, J. CECHERINI, M., LANDI, T., PIETRAMELLAA, G., RESELLA, G. 2003. Microbial diversity and soil functions. European Journal of Soil Science 54: 655-670.

NARRO, E. 1994 Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas México p195.

NEVES, M.; CRIMA, J.; DOBEREINER, 1983 Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 7: pp 131-136.

NUÑEZ, M Y BISBAL, E. 1999 Efecto de la compactación del suelo sobre algunos parámetros morfológicos del desarrollo radical del maíz Agronomía Tropical 49(1):93-106.

PASCUA, J. A., HERNANDEZ, C., GARCIA, C. AND AYUSO, M. 1998 enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes laboratory experiment Bioresour Technol 64:131-138.

PATHAK, H., RAO, D. 1998 carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkaline soil. *Soil Biol Biochem* 30:695-702.

PRIMAVESI, A. 1987. *Manejo Ecológico do Solo*. 9ª Edición. ISBN 85 - 213-0004-2. 549 p.

QUILCHANO, C. MARAÑON, T. 2002 Dehydrogenase activity in Mediterranean forest. *Soil Biol, fertile Soils*. 35: 102-107.

QUINTERO, D. 2003 Resultados preliminares y proyecciones acerca del uso de la vinaza en Colombia. En: VI Congreso Colombiano de Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (Tecnicaña). Cali, Colombia, Memorias, volumen 1. Cali, Tecnicaza. pp. 113-121.

QUINTERO, R. 2004. Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo Memorias seminario “vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible” Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Palmira.

QUINTERO, D. 2007 investigaciones sobre el manejo de las vinazas aplicadas al suelo. Informe CENICAÑA 20p.

RAISMAN, C. Y GONZÁLEZ, A. 2004 Hipertextos de áreas de biología: mecanismos de acción de los enzimas. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Agroindustria. En: <http://members.fortunecity.com/jojoel99/biologia/enzimas.htm#GlossZ.Argentina>.

RAO, S. 1983 El valor nutritivo de la vinaza y su efecto en el pH del suelo. In seminario Interamericano de la caña de azúcar. Fertilidad y manejo de suelos. Miami. pp. 540 – 549.

RENELLA, G., LANDI, J. ASCHER, M., CECCHERINI, G., PIETRAMELLARA, P. NANNIPIERI 2006. Phosphomonoesterase production and persistence and composition of bacterial communities during plant material de composition in soil with different ph values Elsevier *Soil Biology & Biochemistry* 38: 795-802.

RIFFALDI, R. SAVIOZZI, A., LEVI-MINZ, R., CARDELLI, R. 2002 biochemical properties of Mediterranean soil as affected by long term crop management system *Soil Till Res* 67:104-114.

ROBAYO, H. 2006 Caracterización agronómica de seis híbridos de maíz dulce (zea mays raza saccharata) para las condiciones edafoclimáticas del valle geográfico del río cauca. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 133p.

ROBAYO, 2007 Comunicación oral.

ROJAS, 2007. Estimación de la conductividad hidráulica en un suelo con diferentes diluciones de vinaza en condiciones de campo. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Palmira sede Palmira p 3.

ROLDAN, A., SALINAS, J., ALGUACIL, M., CARAVACA, F. 2005. changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology* 30 pp 11-20.

ROSS, D. J. 1971. Some factors affecting the estimation of dehydrogenase activities of some soils under pasture. *Soil Biology & Biochemistry* 3. pp 97-110.

RUSSELL, E. W. 1973. *Soil Conditions and plant growth*. Décima edición. Longman Group Limited, London. 849 p.

SÁNCHEZ DE P. M.; MARMOLEJO DE LA T, F. Y BRAVO, N. 2000. *Microbiología. Aspectos Fundamentales*. Universidad Nacional de Colombia. ED Feriva. 260 p.

SÁNCHEZ DE P. M. 2003. *Actividad biológica en la rizosfera del maracuyá (pasiflora edulis var. Flavicarpa) en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Tesis Doctoral. 261 P.

SCHINNER, F., KANDELER, E; RICHARD, O., HARGESIN, R. 1995 *Methods in soil Biology Germany* 209-214.

SCCS, 2001 *Fertilidad de suelos diagnostico y control*. Publicación de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 2 Ed. Bogotá p 524

SCCS, 1990 *fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Publicación de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 3 Ed. Bogotá p 323.

SILVA, A. 2005 *Maíz genéticamente modificado AGRO-BIO* ISBN 0000000000000000 Bogotá p 61.

SPEIR, T.; ROSS, D. 1978. Soil phosphatase and sulphatase. En: Burns R. G. (Ed), *Soil Enzymes*, Academic Press, London, pp. 197-250.

SURESH CHANDRA, JOSHI, H., PATHAK, H., JAIN, M., KALRA, N. 2002 Effect of potassium salts and distillery effluent on carbon mineralization in soil *Bioresource Technology* 83 pp. 255–257.

- SUBIROS, J. Y MOLINA, E. 1992 Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un inceptisol de guanacaste, *Costa Rica Agronomía Costarricense* 16(1): pp 55-60.
- TABATABAI, M. 1994. Soil enzymes In. WEAVER, R W., ANGLE, J. S., BOTTONMLEY, D. S. (Eds), *Methods of soil analysis Part 2. Microbiological and Biochemical properties* Soil Science Society of America, Madison W. I. USA. 775-833.
- TABATABAI, M.A. Y BREMNER, J.M. 1970 a. Arylsulfatasa Activity of Soil. *Soil Sci Soc Am Proc* 34: 225 –229.
- TATE, R. L. 2002 Microbiology and enzymology of carbon and nitrogen cycling 227-248 In, R. g. Burns and R. p. Dicks (Ed) *Enzymes in the environmental* Marcel Dekker. Inc New York. 227-248 pp.
- TEJADA, M. Y GONZALEZ, J. L. 2004. Effect of the application of compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.* 19:357 – 368.
- TEJADA, M., y GONZÁLES, J. 2006 Effects of two beet vinasse forms on soil physical properties and soil loss *Catena* 68 pp. 41–50.
- TEJADA, M. Y GONZALEZ, J. L. 2003a Application of a by-product of the two-step olive oil mill process on rice yield. *Agrochimica* 47, 94 – 102.
- TEJADA, M., GARCIA, C., GONZALEZ, L., y HERNANDEZ, M. 2006 Organic Amendment Based on Fresh and Composted Beet Vinasse: Influence on Soil Properties and Wheat Yield. Published in *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:900–908.
- TEJADA, M., GARCIA, C., MORENO, J., y HERNANDEZ, M. 2007 Application of two beet vinasse forms in soil restoration: Effects on soil properties in an arid environment in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 pp. 289–298.
- TIEDJE, T., CHO, J. MURRAY, A. TREVES, D. XIA, B. ZHEV, J. 2001 Soil teeming with life new frontiers in soil Science In. RESS, R. BALL, B. CAMBELL, C. WATSON, C.A. (Eds), *sustainable management of soil organic matter*. CAB international, Wallingford pp 393-412.
- TRASAR, C.; GIL, F.; LEIRÓS C., 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones Mundi Prensa, España. pp 370.

VON MERSE, W.; SCHINNER, F. 1991. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soil with oionitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soil* 11: 216-220.

YOSHIOKA, I. 2005. Actividad de fosfatasas acida y alcalina en un suelo cultivado con plátano *Musa AAB*: en tres sistemas de manejo. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 99 p.

YOSHIOKA, I.C., BOLAÑOS, B. M. M.; SÁNCHEZ, M.; MELGAREJO, L.M. 2005. Actividad de fosfatasas en suelo rizosférico de plátano (*Musa AAB*) estimada mediante dos metodologías. En: Resúmenes XXVI Congreso ASCOLFI. Bogotá, octubre 5 -7 de 2005. pág: 4.

ZAMORA, F. 2003. Identificación de indicadores de sostenibilidad en los sistemas de producción hortícola de Barrio Nuevo, municipio de Federación estado de Falcón (Trabajo especial de grado) Maestría en sistemas de producción Agrícola en el trópico seco UNEFM 200p.

ZAMORA, F., MOGOLLÓN, J Y RODRIGUEZ, N. 2005 cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado de Falcón, Venezuela *Multiciencias* Vo 5 No 1: 162-701 ISSN 1317-2255.

<http://enfenix.webcindario.com/biologia/molecula/enziclas.html>.

# ANEXOS

## Anexo 1. Descripción del suelo de Florida



**Figura 14.** Perfil del suelo de Florida

El suelo de Florida según el estudio de Suelos del Valle Geográfico del Río Cauca indica que pertenece a la Consociación PORVENIR (PV), se localizan al sur del Valle geográfico del río Cauca, en jurisdicción de los municipios de Florida, Miranda y Caloto Principalmente.

Geomorfológicamente, la unidad se encuentra en la llanura aluvial de piedemonte, zona correspondiente al ápice de los abanicos. El clima corresponde al piso térmico cálido moderado, con altitudes de 1000 a 1100 msnm.

Los suelos han evolucionado a partir de materiales coluvioaluviales, de textura finas y moderadamente finas, principalmente de origen ígneo (diabasas); el relieve es plano a ligeramente inclinado, con pendientes de 0 a 7%; sin evidencias de erosión; drenaje natural bien drenado. Son poco profundos limitados por fragmentos de roca de 35 a 60% por volumen.

La vegetación natural ha sido destruida. El uso actual es ganadería extensiva y cultivos de caña.

Representa la unidad el conjunto PORVENIR (*Typic Argiudoll*), con inclusiones de *Entic Dystropept*.

Presentan perfiles A-B-C (Ap-Bt-C). El horizonte A tiene 24 cm de espesor, color negro con moteados de color pardo amarillento oscuro, clase textural franco arcillosa gravilosa, estructura en bloque subangulares fuertemente desarrollados y reacción ligeramente ácida.

El horizonte B de acumulación de arcilla (argílico) tienen 26 cm de espesor, color negro con moteados de color pardo amarillento y amarillo pardusco, clase textural arcillosa gravilosa estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados y reacción ligeramente ácida.

El horizonte C tiene 85 cm de espesor, color pardo amarillento, clase textural franco arcillosa arenosa, sin estructura de suelo y reacción ligeramente ácida.

La clasificación taxonómica se basa en la presencia de epipedón mólico, la saturación de bases mayor o igual a 50%, el endopedón argílico, régimen de humedad del suelo údico . Tomado de IGAC, CVC, 2004.

## Anexo 2. Descripción del suelo de Manuelita



**Figura 15.** Perfil del suelo de Manuelita

El suelo de Florida según el estudio de Suelos del Valle Geográfico del Río Cauca indica que pertenece a la Consociación Manuelita (MN), comprende suelos localizados indistintamente en toda el área plana del departamento del Valle.

Geomorfológicamente, la unidad corresponde a diques y explayamientos en los abanicos, ocasionalmente, a sedimentos más recientes depositados sobre la terraza lacustre de Cartago. El clima corresponde al piso térmico cálido moderado, con altitud de 900 a 1000 msnm.

Son suelos desarrollados a partir de sedimentos aluviales de texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas; el relieve es plano a ligeramente plano, con pendiente entre 1-3-5%, sin evidencias de erosión; el drenaje natural es moderado a bueno.

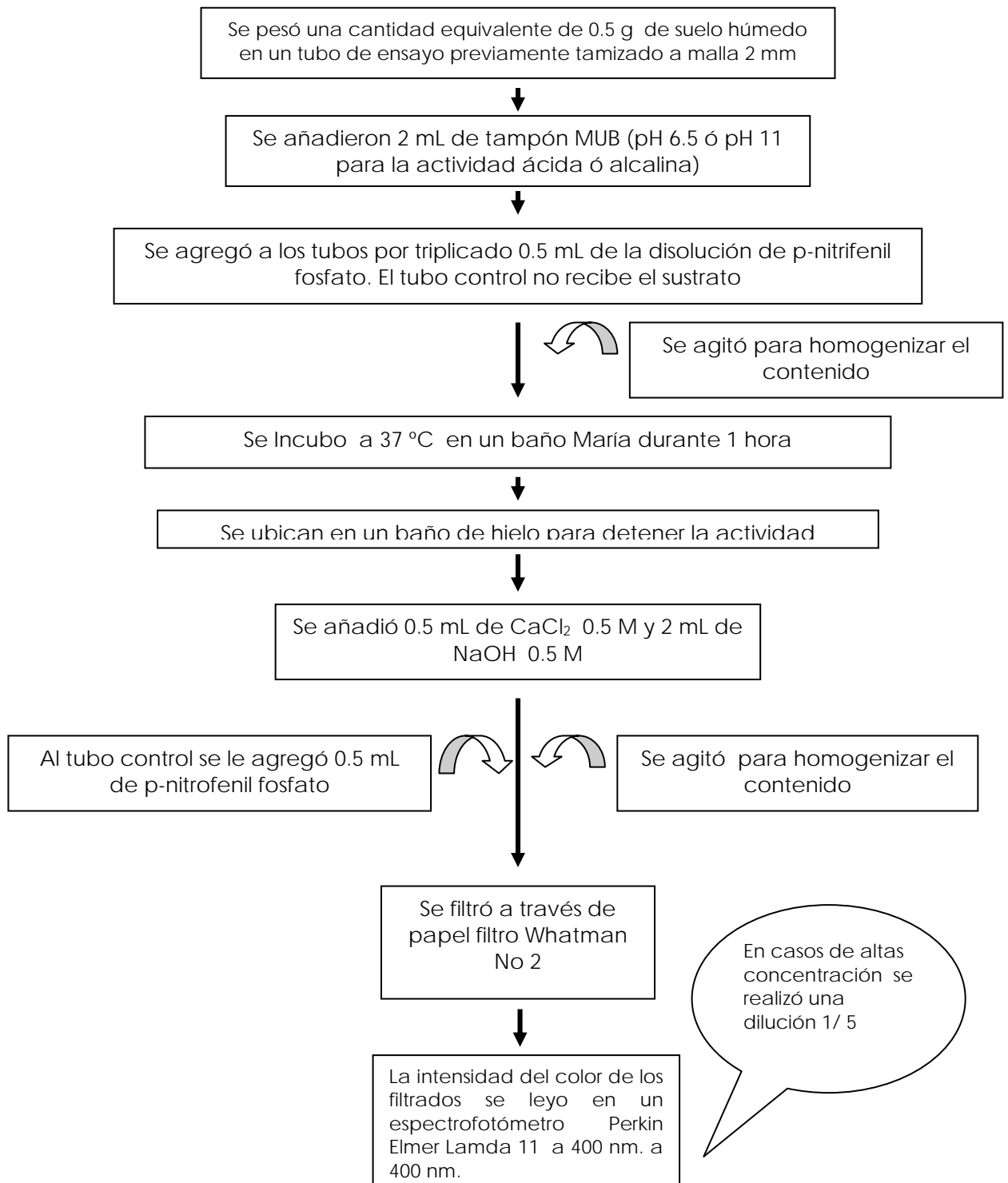
La vegetación natural ha sido destruida. En la actualidad estos suelos se dedican a la agricultura intensiva y en menor escala a la ganadería, el cultivos más importantes es la caña de azúcar.

La unidad está representada por el conjunto MANUELITA (*Fluventic Haplustoll*)  
Presentan perfiles A-B-C (Ap-Bt-C). El horizonte A tiene 25 cm de espesor, color pardo grisáceo, clase textural franco arcillosa gravilosa, estructura en bloque subangulares.

El horizonte B tiene 35 cm de espesor presenta un cambio textural en los primeros 20 cm de espesor, el color es amarillo pardoso, clase textural arcillo limoso sin estructura, en los siguientes 14 cm el color es amarillo pálido, clase textural arenoso sin estructura.

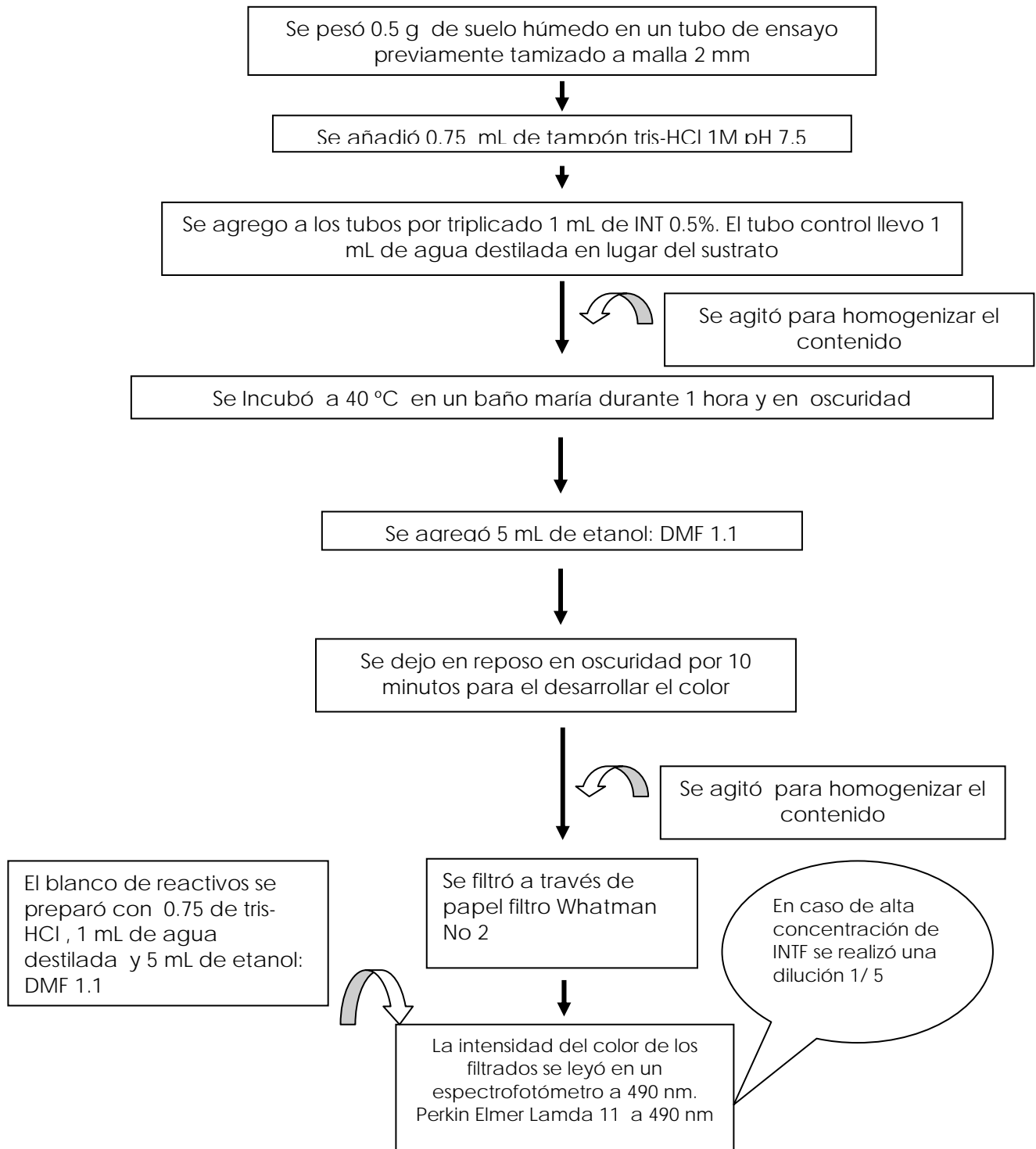
El horizonte C tiene 20 cm de espesor, color pardo oliva claro, clase textural arenosa, sin estructura de suelo. Tomado de IGAC, CVC, 2004.

### Anexo 3. Diagrama del proceso metodológico para determinar fosfatasa



Adaptado de Tabatabai y Bremner (1969) modificado por Yoshioka, (2005) y Bolaños, (2006)

#### Anexo 4. Diagrama del proceso metodológico para determinar deshidrogenasas



Adaptado de Von Mersi y Schinner (1991) modificado por Camiña *et al.* (1998)

**Anexo 5. ANDEVA realizado para la variación entre muestreos de las propiedades químicas en el suelo Florida**

**pH**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	4.64775000	0.66396429	36.63	<.0001	0.889054	2.585293
Error	32	0.58000000	0.01812500				
Total correcto	39	5.22775000					
Fuente	3	0.14875000	0.04958333	2.74	0.0598		
Muestreo	1	4.42225000	4.42225000	243.99	<.0001		
fuelle*muestreo	3	0.07675000	0.02558333	1.41	0.2574		

**MATERIA ORGANICA**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	0.82737750	0.11819679	1.06	0.4126	0.187853	4.120369
Error	32	3.57700000	0.11178125				
Total correcto	39	4.40437750					
Fuente	3	0.32262750	0.10754250	0.96	0.4226		
Muestreo	1	0.02652250	0.02652250	0.24	0.6295		
fuelle*muestreo	3	0.47822750	0.15940917	1.43	0.2533		

**CALCIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	5.95775000	0.85110714	2.19	0.2233	0.323901	8.734122
Error	32	12.43600000	0.38862500				
Total correcto	39						
Fuente	3	18.39375000					
Muestreo	1	1.71275000	0.57091667	1.47	0.0173		
fuelle*muestreo	3	2.45025000	2.45025000	6.30	0.2415		
		1.79475000	0.59825000	1.54	0.0619		

**MAGNESIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	0.70175000	0.10025000	3.11	0.0128	0.404758	7.077157
Error	32	1.03200000	0.03225000				
Total correcto	39	1.73375000					
Fuente	3	0.13475000	0.04491667	1.39	0.2629		
Muestreo	1	0.34225000	0.34225000	10.61	0.0027		
fuelle*muestreo	3	0.22475000	0.07491667	2.32	0.0937		

**POTASIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	27.73372000	3.96196000	40.77	<.0001	0.899183	24.79913
Error	32	3.10952000	0.09717250				
Total correcto	39	30.84324000					
Fuente	3	0.46150000	0.15383333	1.58	0.2127		
Muestreo	1	26.76496000	26.76496000	275.44	<.0001		
fuelle*muestreo	3	0.50726000	0.16908667	1.74	0.1786		

### SODIO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	0.16922918	0.02417560	2.90	0.0183	0.388007	38.98435
Error	32	0.26692080	0.00834127				
Total correcto	39	0.43614998					
Fuente	3	0.04375508	0.01458503	1.75	0.1769		
Muestreo	1	0.08939703	0.08939703	10.72	0.0026		
fuelle*muestreo	3	0.03607708	0.01202569	1.44	0.2489		

### CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	24.47503000	3.49643286	1.93	0.0971	0.296876	8.885926
Error	32	57.96688000	1.81146500				
Total correcto	39	82.44191000					
Fuente	3	1.06227000	0.35409000	0.20	0.8987		
Muestreo	1	15.70009000	15.70009000	8.67	0.0060		
fuelle*muestreo	3	7.71267000	2.57089000	1.42	0.2552		

### FOSFORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	3241.975000	463.139286	4.57	0.0013	0.499690	16.93421
Error	32	3246.000000	101.437500				
Total correcto	39	6487.975000					
Fuente	3	63.275000	21.091667	0.21	0.8902		
Muestreo	1	2941.225000	2941.225000	29.00	<.0001		
fuelle*muestreo	3	237.475000	79.158333	0.78	0.5137		

### COBRE

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	37.67200000	5.38171429	22.40	<.0001	0.830511	15.81139
Error	32	7.68800000	0.24025000				
Total correcto	39	45.36000000					
Fuente	3	9.68600000	3.22866667	13.44	<.0001		
Muestreo	1	21.31600000	21.31600000	88.72	<.0001		
fuelle*muestreo	3	6.67000000	2.22333333	9.25	0.0001		

### ZINC

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	293.5297500	41.9328214	11.6	<.0001	0.717681	18.01823
Error	32	115.4680000	3.6083750				
Total correcto	39	408.9977500					
Fuente	3	196.4847500	65.4949167	18.15	<.0001		
Muestreo	1	1.8922500	1.8922500	0.52	0.4742		
fuelle*muestreo	3	95.1527500	31.7175833	8.79	0.0002		

### MANGANESO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	1178.184000	168.312000	2.03	0.0824	0.306991	16.30313
Error	32	2659.660000	83.114375				
Total correcto	39	3837.844000					
Fuente	3	547.2420000	182.4140000	2.19	0.1079		
Muestreo	1	66.5640000	66.5640000	0.80	0.3775		
fuelle*muestreo	3	564.3780000	188.1260000	2.26	0.1000		

### HIERRO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	4889.56400	698.50914	1.14	0.3638	0.199562	9.493524
Error	32	19611.92000	612.87250				
Total correcto	39	24501.48400					
Fuente	3	2017.204000	672.401333	1.10	0.3646		
Muestreo	1	264.196000	264.196000	0.43	0.5162		
fuentes*muestreo	3	2608.164000	869.388000	1.42	0.2554		

### BORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	2.54239750	0.04520750	0.01506917	0.89	0.824095	21.82250
Error	32	0.54268000	0.36319964				
Total correcto	39	3.08507750					
Fuente	3	0.04198750	0.01695875	21.42	<.0001		
Muestreo	1	0.04198750	0.01399583	0.83	0.4897		
fuentes*muestreo	3	2.45520250	2.45520250	144.77	0.4575		

### RELACION Ca + Mg/K

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	1740.611991	248.658856	81.06	<.0001	0.946614	11.53023
Error	32	98.164186	3.067631				
Total correcto	39	1838.776176					
Fuente	3	4.329163	1.443054	0.47	0.7050		
Muestreo	1	1734.910466	1734.910466	565.55	<.0001		
fuentes*muestreo	3	1.372363	0.457454	0.15	0.9295		

**Anexo 6. ANDEVA realizado para las propiedades químicas en el último muestreo para el suelo Florida**

**pH**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.19350000	0.06450000	1.97	0.1592	0.269686	3.712197
Error	16	0.52400000	0.03275000				
Total correcto	19	0.71750000					

**MATERIA ORGANICA**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.79285500	0.26428500	2.68	0.0818	0.334558	3.881395
Error	16	1.57700000	0.09856250				
Total correcto	19	2.36985500					

**CALCIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	3.50550000	1.16850000	3.19	0.0521	0.374299	8.194799
Error	16	5.86000000	0.36625000				
Total correcto	19	9.36550000					

**MAGNESIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.34150000	0.11383333	2.05	0.1472	0.277755	9.635353
Error	16	0.88800000	0.05550000				
Total correcto	19	1.22950000					

**POTASIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.96634000	0.32211333	1.66	0.2153	0.237471	21.22316
Error	16	3.10296000	0.19393500				
Total correcto	19	4.06930000					

**SODIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.07749500	0.02583167	1.64	0.2200	0.235079	44.59639
Error	16	0.25216000	0.01576000				
Total correcto	19	0.32965500					

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	6.46294000	2.15431333	1.57	0.2344	0.227971	7.415111
Error	16	21.88688000	1.36793000				
Total correcto	19	28.34982000					

### FOSFORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	266.950000	88.983333	0.52	0.6736	0.089074	19.19522
Error	16	2730.000000	170.625000				
Total correcto	19	2996.950000					

### COBRE

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	14.67400000	4.89133333	11.10	0.0003	0.675536	17.32903
Error	16	7.04800000	0.44050000				
Total correcto	19	21.72200000					

### ZINC

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	273.9655000	91.3	13.06	0.0001	0.710091	2.644003
Error	16	111.8520000	6.9907500				
Total correcto	19	385.8175000					

### MANGANESO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	1111.042000	370.347333	2.41	0.1052	0.310957	22.70636
Error	16	2461.940000	153.871250				
Total correcto	19	3572.982000					

### HIERRO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	4562.000000	1520.66667	1.45	0.2662	0.213485	12.55254
Error	16	16807.20000	1050.45000				
Total correcto	19	21369.20000					

### BORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.08645440	0.02881813	1.11	0.3726	0.172800	19.03765
Error	16	0.41386080	0.02586630				
Total correcto	19	0.50031520					

### RELACION Ca + Mg/K

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	2.75240520	0.91746840	1.99	0.1558	0.271954	7.886908
Error	16	7.36842560	0.46052660				
Total correcto	19	10.12083080					

**Anexo 7. ANDEVA realizado para la variación entre muestreos de las propiedades químicas en el suelo Manuelita**

**pH**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	6.65100000	0.95014286	67.87	<.0001	0.936893	1.621955
Error	32	0.44800000	0.01400000				
Total correcto	39	7.09900000					
Fuente	3						
Muestreo	1	1.02500000	0.34166667	24.40	<.0001		
fuelle*muestreo	3	4.76100000	4.76100000	340.07	<.0001		
		0.86500000	0.28833333	20.60	<.0001		

**MATERIA ORGANICA**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	1.52661750	0.21808821	3.21	0.0108	0.412829	6.638739
Error	32	2.17132000	0.06785375				
Total correcto	39	3.69793750					
Fuente	3						
Muestreo	1	0.63842750	0.21280917	3.1	0.0389		
fuelle*muestreo	3	0.28056250	0.28056250	4.13	0.0504		
		0.60762750	0.20254250	2.98	0.0457		

**CALCIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	81.0270000	11.5752857	15.49	<.0001	0.772134	8.692169
Error	32	23.9120000	0.7472500				
Total correcto	39	104.9390000					
Fuente	3	16.98100000	5.66033333	7.57	0.0006		
Muestreo	1	58.08100000	58.08100000	77.73	<.0001		
fuelle*muestreo	3	5.96500000	1.98833333	2.66	0.0648		

**MAGNESIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	0.45775000	0.06539286	2.71	0.0252	0.372230	4.341642
Error	32	0.77200000	0.02412500				
Total correcto	39	1.22975000					
Fuente	3	0.20075000	0.06691667	2.77	0.0573		
Muestreo	1	0.05625000	0.05625000	2.33	0.1366		
fuelle*muestreo	3	0.20075000	0.06691667	2.77	0.0573		

**POTASIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	57.58408000	8.22629714	27.57	<.0001	0.857768	39.93037
Error	32	9.54836000	0.29838625				
Total correcto	39	67.13244000					
Fuente	3	1.65056000	0.55018667	1.84	0.1591		
Muestreo	1	54.28900000	54.28900000	181.94	<.0001		
fuelle*muestreo	3	1.64452000	0.54817333	1.84	0.1603		

### SODIO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	0.29961750	0.04280250	22.57	<.0001	0.831584	16.89465
Error	32	0.06068000	0.00189625				
Total correcto	39	0.36029750					
Fuente	3	0.01044750	0.00348250	1.84	0.1604		
Muestreo	1	0.28730250	0.28730250	151.51	<.0001		
fuentes*muestreo	3	0.00186750	0.00062250	0.33	0.8049		

### CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	13.12407000	1.87486714	1.22	0.3187	0.211197	10.11776
Error	32	49.01728000	1.53179000				
Total correcto	39	62.14135000					
Fuente	3	2.44011000	0.81337000	0.53	0.6643		
Muestreo	1	8.93025000	8.93025000	5.83	0.0216		
fuentes*muestreo	3	1.75371000	0.58457000	0.38	0.7669		

### COBRE

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	18.95100000	2.70728571	3.84	0.0039	0.456750	5.224217
Error	32	22.54000000	0.70437500				
Total correcto	39	41.49100000					
Fuente	3	10.33100000	3.44366667	4.89	0.0066		
Muestreo	1	1.36900000	1.36900000	1.94	0.1729		
fuentes*muestreo	3	7.25100000	2.41700000	3.43	0.0285		

### ZINC

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	40.74700000	5.82100000	1.58	0.1762	0.257210	53.34119
Error	32	117.67200000	3.67725000				
Total correcto	39	158.41900000					
Fuente	3	16.35700000	5.45233333	1.48	0.2378		
Muestreo	1	2.20900000	2.20900000	0.60	0.4440		
fuentes*muestreo	3	22.18100000	7.39366667	2.01	0.1322		

### MANGANESO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	354.15500000	50.5935714	10.24	<.0001	0.691316	4.908921
Error	32	158.13600000	4.94175000				
Total correcto	39	512.29100000					
Fuente	3	59.96500000	19.9883333	4.04	0.0152		
Muestreo	1	53.36100000	53.36100000	10.80	0.0025		
fuentes*muestreo	3	240.82900000	80.2763333	16.24	<.0001		

### HIERRO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	42592.99100	6084.71300	34.08	<.0001	0.881722	10.55763
Error	32	5713.60000	178.55000				
Total correcto	39	48306.59100					
Fuente	3	3043.00100	1014.33367	5.68	0.0031		
Muestreo	1	35557.36900	35557.36900	199.15	<.0001		
fuentes*muestreo	3						

		3992.62100	1330.87367	7.45	0.0006		
--	--	------------	------------	------	--------	--	--

### BORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	7.22144000	1.03163429	7.15	<.0001	0.609847	53.51626
Error	32	4.61996000	0.14437375				
Total correcto	39	11.84140000					
Fuente	3	0.47366000	0.15788667	1.09	0.3660		
Muestreo	1	6.30436000	6.30436000	43.67	<.0001		
fuentes*muestreo	3	0.44342000	0.14780667	1.02	0.3951		

### RELACION Ca + Mg/K

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	7	23874.62624	3410.66089	87.25	<.0001	0.950212	16.96155
Error	32	1250.94660	39.09208				
Total correcto	39	25125.57284					
Fuente	3	338.21730	112.73910	2.88	0.0509		
Muestreo	1	23261.32900	23261.32900	595.04	<.0001		
fuentes*muestreo	3	275.07994	91.69331	2.35	0.0914		

**Anexo 8. ANDEVA realizado para las propiedades químicas en el último muestreo para el suelo Manuelita**

**pH**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	1.88200000	0.62733333	24.60	<.0001	0.821834	2.297657
Error	16	0.40800000	0.02550000				
Total correcto	19	2.29000000					

**MATERIA ORGANICA**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	0.85405500	0.28468500	3.69	0.0343	0.408761	6.933559
Error	16	1.23532000	0.07720750				
Total correcto	19	2.08937500					

**CALCIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	2.13800000	0.71266667	2.46	0.1000	0.315805	4.825579
Error	16	4.63200000	0.28950000				
Total correcto	19	6.77000000					

**MAGNESIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	0.40150000	0.13383333	3.55	0.0386	0.399304	5.374650
Error	16	0.60400000	0.03775000				
Total correcto	19	1.00550000					

**POTASIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	3.29506000	1.09835333	1.84	0.1803	0.256652	30.49018
Error	16	9.54356000	0.59647250				
Total correcto	19	12.83862000					

**SODIO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	0.00989500	0.00329833	1.81	0.1851	0.253881	12.44734
Error	16	0.02908000	0.00181750				
Total correcto	19	0.03897500					

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	4.16182000	1.38727333	1.18	0.3483	0.181239	8.532161
Error	16	18.80128000	1.17508000				
Total correcto	19	22.96310000					

### FOSFORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	20757.60000	6919.20000	1697.96	<.0001	0.996869	10.85303
Error	16	65.20000	4.07500				
Total correcto	19	20822.80000					

### COBRE

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	17.34000000	5.78000000	4.62	0.0164	0.464232	7.042628
Error	16	20.01200000	1.25075000				
Total correcto	19	37.35200000					

### ZINC

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	32.2660000	10.7553333	1.89	0.1719	0.261725	62.27305
Error	16	91.0160000	5.6885000				
Total correcto	19	123.2820000					

### MANGANESO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	251.4960000	83.8320000	10.22	0.0005	0.657114	6.166911
Error	16	131.2320000	8.2020000				
Total correcto	19	382.7280000					

### HIERRO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	6992.40400	2330.80133	6.88	0.0035	0.563213	11.77256
Error	16	5422.80800	338.92550				
Total correcto	19	12415.21200					

### BORO

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	0.91610000	0.30536667	1.09	0.3809	0.169994	47.76260
Error	16	4.47292000	0.27955750				
Total correcto	19	5.38902000					

### RELACION Ca + Mg/K

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	3	4.11002000	1.37000667	1.81	0.1862	0.253214	6.828234
Error	16	12.12140000	0.75758750				
Total correcto	19	16.23142000					

**Anexo 9.** Cambios en las propiedades físicas por efecto de la aplicación de cuatro fuentes de potasio en el suelo Florida

Manejo Parámetro	Muestreo inicial	Muestreo final			
	Sin fertilización	KCl	Vinaza	50VNZ:50KCl	75VNZ:25KCl
Densidad aparente g*cm <sup>-3</sup>	1.39(a)*	1.21(b)*	1.23(b)*	1.24(b)*	1.20(b)*
Textura		FAr			
Arcilla %	33.01	31.76	33.76	34.76	31.76
Limo %	29.7	34	28	28.8	28
Arena %	37.3	34.2	38.2	36.4	40.2
Estabilidad de agregados					
Tamiz -10	63.82	33.4	46.3	35.9	36.7
Tamiz - 20	10.41	16.6	17.5	17.7	16.8
Tamiz - 35	7.82	20.1	14.2	15.2	16.2
Tamiz - 60	5.4	10.1	7.63	8.90	8.29
Tamiz < 60	13.49	19.8	14.5	22.2	22.7
Índice de estabilidad	0.30(a)*	0.93(b)*	0.66(b)*	0.72(b)*	0.70(b)*
Diámetro ponderado medio (mm)	0.95(a)*	0.68(b)*	0.84(b)*	0.70(b)*	0.71(b)*
Porosidad %	46.19(a)*	53.2(b)*	52.49(b)*	53.28(b)*	53.57(b)*

**Fuente:** Laboratorio de Física de Suelos Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 2007

\* Diferencias altamente significativas entre muestreos

**Anexo 10.** ANDEVA realizado para las propiedades físicas en el último muestreo para el suelo de Florida

**DENSIDAD APARENTE**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.00244000	0.00081333	0.45	0.7200	0.078005	3.497188
Error	16	0.02884000	0.00180250				
Total correcto	19	0.03128000					

**INDICE DE ESTABILIDAD**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.20989500	0.06996500	1.14	0.3618	0.176493	32.61787
Error	16	0.97936000	0.06121000				
Total correcto	19	1.18925500					

**DIÁMETRO MEDIO PONDERADO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.07661500	0.02553833	1.70	0.2073	0.241615	16.69120
Error	16	0.24048000	0.01503000				
Total correcto	19	0.31709500					

**POROSIDAD**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	3.17002000	1.05667333	0.36	0.7813	0.063561	3.215531
Error	16	46.70400000	2.91900000				
Total correcto	19	49.87402000					

**Anexo 11.** Cambios en las propiedades físicas por efecto de la aplicación de cuatro fuentes de potasio en el suelo Manuelita

Manejo Parámetro	Muestreo inicial	Muestreo final			
	Sin fertilización	KCl	Vinaza	50VNZ:50KCl	75VNZ:25KCl
Densidad aparente g*cm <sup>-3</sup>	1.23(c)*	1.43(a)*	1.49(a)*	1.35(b)*	1.46(a)*
Textura	Franco Arcilloso				
Arcilla %	27.76	27.76	28.76	27.76	28.76
Limo %	42.3	42	42	43	42
Arena %	30.24	30.24	29.42	29.24	29.24
Estabilidad de agregados					
Tamiz -10	5.53	13.3	8.24	6.88	3.3
Tamiz - 20	8.95	2.63	17.4	2.56	2.5
Tamiz - 35	16.18	10.8	10.9	7.77	11
Tamiz - 60	17.95	13.3	16.2	13.6	13.6
Tamiz < 60	51.32	57	47.7	69.2	69.7
Índice de estabilidad	0.76 (a)	0.43(a)	0.58(a)	0.31(a)	0.33(a)
Diámetro ponderado medio (mm)	0.24(a)	0.15(a)	0.20(a)	0.17(a)	0.13(a)
Porosidad %	52.50(c)*	44.94(b)*	42.54(b)*	48.01(a)*	43.55(b)*

**Fuente:** Laboratorio de Física de Suelos Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 2007.

\* Diferencias altamente significativas entre muestreos

**Anexo 12. ANDEVA realizado para las propiedades físicas en el último muestreo para el suelo de Manuelita**

**DENSIDAD APARENTE**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.05722000	0.01907333	8.68	0.0012	0.619398	3.275856
Error	16	0.03516000	0.00219750				
Total correcto	19	0.09238000					

**INDICE DE ESTABILIDAD**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	1.62689500	0.54229833	2.31	0.1152	0.302245	90.47566
Error	16	3.75580000	0.23473750				
Total correcto	19	5.38269500					

**DIÁMETRO MEDIO PONDERADO**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	0.10781500	0.03593833	1.62	0.2239	0.233116	66.31962
Error	16	0.35468000	0.02216750				
Total correcto	19	0.46249500					

**POROSIDAD**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	3	85.0340400	28.3446800	8.73	0.0012	0.620714	4.025554
Error	16	51.9598400	3.2474900				
Total correcto	19	136.9938800					

### Anexo 13. ANDEVA realizado para actividad enzimática en el suelo de Florida

#### Estimación de las fosfatasa alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados Tipo III	Cuadrados medios	Valor de F	Coefficiente de variación	R2	Coefficiente de variación
Modelo	27	134.6159521	4.9857760	39.17	<.0001	0.946308	19.79471
Error total	60	7.6378657	0.1272978				
	87	142.2538178					
Muestreo	3	20.02802342	6.67600781	52.44	<.0001		
Rep(muestreo)	4	0.35359561	0.08839890	0.69	0.5988		
Fuente	5	1.76052095	0.35210419	2.77	0.0259		
Muestreo*fuentes	15	5.68435349	0.37895690	2.98	0.0014		

#### Estimación de las fosfatasa ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados Tipo III	Cuadrados medios	Valor de F	Coefficiente de variación	R2	Coefficiente de variación
Modelo	27	37.93039317	1.40482938	22.02	<.0001	0.908344	14.96687
Error total	60	3.82733733	0.06378896				
	87	41.75773050					
Muestreo	3	5.40200740	1.80066913	20.23	<.0001		
Rep(muestreo)	4	0.29210583	0.07302646	1.14	0.3443		
Fuente	5	0.58815823	0.11763165	1.84	0.1179		
Muestreo*fuentes	15	2.81759354	0.18783957	2.94	0.0015		

#### Estimación de las deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados Tipo III	Cuadrados medios	Valor de F	Coefficiente de variación	R2	Coefficiente de variación
Modelo	27	207.7322328	7.6937864	16.57	<.0001	0.881724	38.52348
Error total	60	27.8656109	0.4644268				
	87	27.8656109					
Muestreo	3	44.75443645	14.91814548	32.12	<.0001		
Rep(muestreo)	4	3.38758318	0.84689580	1.82	0.1361		
Fuente	5	6.80046618	1.36009324	2.93	0.0197		
Muestreo*fuentes	15	20.2289776	1.34859318	2.90	0.0017		

## Anexo 14. ANDEVA para actividad enzimática en el suelo de Manuelita

### Estimación de las fosfatasas alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados Tipo III	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	27	222.4086651	8.2373580	16.11	<.0001	08787752	27.02956
Error total	60	30.6875187	0.5114586				
Muestreo	87	253.09618839					
Rep(muestreo)	3	31.43344562	10.47781521	20.49	<.0001		
Fuente	4	3.35554515	0.83888629	1.64	0.1759		
Muestreo*fuentes	5	6.55535456	1.31107091	2.56	0.0362		
	15	5.7289528	0.38192969	0.75	0.7279		

### Estimación de las fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados Tipo III	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	27	77.25345955	2.86123924	25.23	<.0001	0.919063	20.22348
Error total	60	6.80332461	0.11338874				
Muestreo	87	84.05678416					
Rep(muestreo)	3	11.55274867	3.85091622	33.96	<.0001		
Fuente	4	0.28650545	0.07162636	0.63	0.6418		
Muestreo*fuentes	5	0.65867913	0.13173583	1.16	0.3385		
	15	2.48491532	0.16566102	1.46	0.1498		

### Estimación de las deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados Tipo III	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	27	9.47415373	0.35089458	5.17	<.0001	0.699493	19.12864
Error total	60	4.07015697	0.06783595				
Muestreo	87	13.54431070					
Rep(muestreo)	3	0.32873938	0.10957979	1.62	0.1952		
Fuente	4	0.32538438	0.10957979	1.20	0.3206		
Muestreo*fuentes	5	2.58566715	0.51713343	7.62	<.0001		
	15	2.58566715	0.26427001	3.90	<.0001		

## Anexo 15. ANDEVA para actividad enzimática por muestreos en el suelo Florida

### Muestreo 0 DAS Fosfatasas alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	0.01991866	0.00398373	2.54	0.0986	0.559137	6.843290
Error	10	0.01570531	0.00157053				
Total correcto	15	0.03562397					

### Muestreo 0 DAS Fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	0.06183706	0.01236741	5.36	0.0518	0.728212	7.019732
Error	10	0.02307923	0.00230792				
Total correcto	15	0.08491629					

### Muestreo 0 DAS Deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	0.90672960	0.18134592	3.13	0.0589	0.609877	16.54979
Error	10	0.58001322	0.05800132				
Total correcto	15	1.48674282					

### Muestreo 10 DDS Fosfatasas alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	0.85132354	0.17026471	0.91	0.4992	0.200912	12.02567
Error	10	3.38597165	0.18810954				
Total correcto	15	4.23729519					

### Muestreo 10 DDS Fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	0.85626912	0.17125382	2.20	0.0994	0.379396	17.36430
Error	10	1.40065773	0.07781432				
Total correcto	15	2.25692684					

### Muestreo 10 DDS Deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	18.37336695	3.67467339	2.60	0.0612	0.419507	29.38883
Error	10	25.42412545	1.41245141				
Total correcto	15	43.79749240					

### Muestreo 38 DDS Fosfatasas alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coefficiente de variación
Modelo	5	5.93384713	1.18676943	5.25	0.0038	0.593028	26.11811
Error	10	4.07216394	0.22623133				
Total correcto	15	10.00601107					

### Muestreo 38 DDS Fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	1.88172552	0.37634510	4.11	0.0115	0.533008	11.89169
Error	10	1.64866021	0.09159223				
Total correcto	15	3.53038573					

### Muestreo 38 DDS Deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	1.99347094	0.39869419	3.48	0.0224	0.491578	47.52604
Error	10	2.06177667	0.11454315				
Total correcto	15	4.05524761					

### Muestreo 76 DDS Fosfatasas alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	1.03678401	0.20735680	7.21	0.0007	0.666998	21.32532
Error	10	0.51762047	0.02875669				
Total correcto	15	1.55440448					

### Muestreo 76 DDS Fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.65512568	0.13102514	2.25	0.0933	0.384876	15.26700
Error	10	1.04704599	0.05816922				
Total correcto	15	1.70217167					

### Muestreo 76 DDS Deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	6.05598343	1.21119669	6.84	0.0010	0.655178	55.35263
Error	10	3.18727871	0.17707104				
Total correcto	15	9.24326213					

**Anexo 16. ANDEVA para actividad enzimática por muestreos en el suelo  
Manuelita**

**Muestreo 0 DAS Fosfatasas alcalinas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.01600882	0.00320176	0.56	0.7322	0.217285	8.975558
Error	10	0.05766792	0.00576679				
Total correcto	15	0.01600882					

**Muestreo 0 DAS Fosfatasas ácidas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.11607131	0.02321426	1.17	0.3895	0.368283	30.33673
Error	10	0.19909725	0.01990973				
Total correcto	15	0.31516856					

**Muestreo 0 DAS Deshidrogenasas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.40182525	0.08036505	3.10	0.0601	0.608066	13.92206
Error	10	0.25899952	0.02589995				
Total correcto	15	0.66082477					

**Muestreo 10 DDS Fosfatasas alcalinas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	4.87625389	0.97525078	1.28	0.3171	0.261643	19.79780
Error	10	13.76080560	0.76448920				
Total correcto	15	18.63705949					

**Muestreo 10 DDS Fosfatasas ácidas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	1.30246070	0.26049214	2.96	0.0504	0.450838	14.69975
Error	10	1.58651578	0.08813977				
Total correcto	15	2.88897648					

**Muestreo 10 DDS Deshidrogenasas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.81958105	0.09058371	1.81	0.1617	0.334511	22.86699
Error	10	2.45008786					
Total correcto	15	0.16391621					

**Muestreo 38 DDS Fosfatasas alcalinas**

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	6.07343819	1.21468764	1.18	0.3575	0.246802	28.05943
Error	10	18.53510331	1.02972796				
Total correcto	15	24.60854150					

### Muestreo 38 DDS Fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	1.69920632	0.33984126	1.26	0.3245	0.258846	18.18641
Error	10	4.86534375	0.27029688				
Total correcto	15	6.56455007					

### Muestreo 38 DDS Deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.97432285	0.19486457	8.80	0.0002	0.709729	11.43917
Error	10	0.39848653	0.02213814				
Total correcto	15	1.37280938					

### Muestreo 76 DDS Fosfatasas alcalinas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	1.40109731	0.28021946	2.99	0.0391	0.453344	27.73614
Error	10	1.68948707	0.09386039				
Total correcto	15	3.09058439					

### Muestreo 76 DDS Fosfatasas ácidas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	0.15793123	0.03158625	1.30	0.3093	0.264628	17.03273
Error	10	0.43887327	0.02438185				
Total correcto	15	0.59680450					

### Muestreo 76 DDS Deshidrogenasas

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F	R2	Coficiente de variación
Modelo	5	4.71650842	0.94330168	8.06	0.0004	0.691159	21.31997
Error	10	2.10754849	0.11708603				
Total correcto	15	6.82405691					