

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE VINAZA SOBRE LA PRESENCIA,
ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO EN EL CULTIVO DE
MAIZ DULCE (*Zea Mays*)

SANDRA PATRICIA MONTENEGRO GOMEZ
7005004

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

DIRIGIDO POR:

Ph. D. JUAN CARLOS MENJIVAR FLORES
M.Sc. CARMEN ROSA BONILLA
Ph. D. RAUL MADRIÑAN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
Palmira, 2008

RESUMEN

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE VINAZA SOBRE LA PRESENCIA, ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA DEL SUELO EN EL CULTIVO DE MAIZ DULCE (*Zea Mays*).

El objetivo de esta investigación fue evaluar en condiciones de invernadero el efecto de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana en dos tipos de suelo del Valle del Cauca en el cultivo de maíz dulce (*Zea Mays*). Los suelos estudiados corresponden a un Inceptisol y un Mollisol. Se utilizó diseño completamente al azar con estructura factorial 4x5x2 correspondiente a 4 mezclas de potasio (T1-100% KCl, T2-100% vinaza, T3-50% KCl +50% vinaza, T4-25% KCl +75% vinaza), 5 repeticiones, 2 ordenes de suelo. Se realizó cuatro muestreos (0, 28, 61, 79 días) para evaluar la evolución en la dinámica microbiana antes y después de fertilizar. Los resultados obtenidos en la presencia, actividad respiratoria y biomasa microbiana-C presentaron diferencias significativas entre muestreos y por efecto de los tratamientos. La respuesta de cada suelo fue diferente en la dinámica microbiana y en la acumulación de biomasa de las plantas, sugiriendo que los resultados obtenidos dependen de las características iniciales de cada suelo, tipo de cultivo y manejo del mismo.

Palabras clave: Vinaza, biomasa microbiana, actividad respiratoria, acumulación de biomasa.

SUMMARY

IT INFLUENCES OF THE APPLICATION DE VINASSE ON THE PRESENCE, ACTIVITY AND MICROBIAL BIOMASS OF THE SOIL IN THE CULTIVATION OF SWEET CORN (*Zea Mays*)

The objective of this investigation was to evaluate under hothouse conditions the effect of the vinasse application on the presence, activity and microbial biomass in two types of soil of the Valley of the Cauca in the cultivation of sweet corn (*Zea Mays*). The studied soils correspond an Inceptisol and a Mollisol. Design was used totally at random with factorial structure 4x5x2 corresponding to 4 mixtures of potassium (T1-100% KCl, T2-100% vinaza, T3 - 50% KCl +50% vinaza, T4-25% KCl +75% vinaza), 5 repetitions, 2 order of soil. Was done out four samplings (0, 28, 61, 79 days) to evaluate the evolution before in the microbial dynamics and after fertilizing. The results obtained in the presence; breathing activity and biomass microbial-C they presented significant differences among samplings and for effect of the treatments. The answer of each soil was different in the microbial dynamics and in the accumulation of biomass of the plants, suggesting that the obtained results depend on the initial characteristics of each soil, cultivation type and handling of the same one.

Keywords: Vinasse, microbial biomass, breathing activity, accumulation of biomass

Director: Juan Carlos Menjivar Flores

Autora: Sandra Patricia Montenegro Gómez (1970)

**“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**

DEDICO:

A la naturaleza y A Dios

Porque siempre siento su protección

A mi familia

Por su apoyo constante

A todos y todas

Los que de corazón

me acompañaron en este proceso

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que creyeron en este trabajo contribuyeron de una u otra forma en su fortalecimiento.

Un fraternal reconocimiento a:

Juan Carlos Menjivar Flores, I. A. Ph.D.. Por su humanismo y valiosos aportes académicos.

Carmen Rosa Bonilla, I. A. M.Sc Por su colaboración en mis escritos

Marcio Lambais I.A. Ph.D. Por su valiosa colaboración desde Brasil

Milton Ararát I.A. M.Sc.. Por colaborar en la consecución de los suelos estudiados

Pablo Ivan Gallo, I.A. Esp. Por su colaboración incondicional.

Nelson Piraneque, I.A. Por su apoyo moral y su intensa colaboración en este trabajo.

Miguel y Héctor. Por su valioso apoyo y colaboración

Diego Iván Ángel I.A. Esp. Por su compañía desde el inicio de este trabajo

Magda, María Fernanda, Johana. Por su compañía y valiosos aportes.

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo General	3
1.2	Objetivos Específicos	3
2.	MARCO TEORICO	4
2.1	Características principales de la vinaza	4
2.2	Compuestos orgánicos de la vinaza	5
2.3	Tipos de vinaza	6
2.4	Alteraciones en las propiedades del suelo	8
2.4.1	Efecto físico	8
2.4.2	Efecto químico	10
2.4.3	Efecto biológico	13
2.5	Aporte investigativo sobre la influencia de la aplicación de Vinaza en el rendimiento de diversos cultivos y su efecto En el suelo	15
2.5.1	Caña de azúcar	15
2.5.2	Café	16
2.5.3	Maíz	17
2.5.3.1	Rendimiento y propiedades físicas del suelo	17
2.5.3.2	Rendimiento y propiedades químicas del suelo	18
2.6	Resultados de investigaciones sobre la vinaza en Colombia	19
2.6.1	Valle del Cauca	19
2.6.1.1	Vinaza como fertilizante	19
2.6.1.2	Dosis de vinaza en cultivo de caña y su efecto en la	

	Pág.
	20
2.6.1.3	21
2.7	22
2.8	23
2.9	24
2.10	25
2.11	25
3	27
3.1	27
3.2	27
3.3	28
3.4	30
3.4.1	30
3.4.2	30
3.4.3	31
3.4.3.1	31
3.4.3.1.2	33
3.4.3.2	34
3.4.3.3	36
3.4.3.4	37
3.4.5.5	38

		Pág.
3.4.3.6	Rendimiento-Acumulación biomasa	38
3.5	Análisis de resultados	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1	Caracterización de los suelos utilizados	40
4.1.1	Propiedades químicas de los suelos	40
4.1.2	Propiedades físicas de los suelos	42
4.2	Biomasa microbiana-C	44
4.3	Actividad microbiana-CO ₂	53
4.4	Cociente metabólico- qCO_2	64
4.5	Comunidades microbianas del suelo	76
4.5.1	Comunidades bacterianas	76
4.5.2	Bacterias fijadoras de nitrógeno	83
4.5.3	Comunidades de Actinomicetos	88
4.5.4	Comunidades de Hongos	91
4.5.4.1	Micorrizas	97
4.6	Acumulación de biomasa	98
5	CONCLUSIONES	105
6.	BIBLIOGRAFIA	106

LISTA DE TABLAS

TABLA	Pág.
1. Composición química de la vinaza	5
2 Composición de la vinaza concentrada (64.8°Brix)	6
3 Características de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales.	8
4 Efecto de la aplicación de vinaza en los contenidos de arcilla dispersada en agua, para diferentes profundidades del suelo	9
5 Cantidad aproximada de micronutrientes y materia orgánica adicionados al suelo con la aplicación de 150 m ³ Ha ⁻¹ de vinaza (caldo mezclado).	12
6...Modificaciones en los contenidos de K, micro nutrientes y materia orgánica de un suelo 'LVe' (Ingenio São Martinho) debido a la aplicación de vinaza (área de descarte	13
7 Producciones de caña y de azúcar y contenidos de sacarosa %caña de la CC 85-92 (Plantilla) obtenidos con tres fuentes de K en dos suelos de los ingenios Cauca y Manuelita	21
8...Variación de algunas propiedades químicas de varios suelos debido a las aplicaciones sucesivas de vinaza durante los últimos 20 años en los ingenios Manuelita y Riopaila (Dos profundidades).	22
9 Fuentes de potasio y épocas de fertilización	28
10 Composición química de vinaza del 25%	29
11 Descripción de los muestreos	30
12 Propiedades químicas del suelo de Florida antes y después de aplicar los tratamientos	41
13 Propiedades químicas del suelo de Manuelita antes y después de aplicar los tratamientos	42

	Pág.
14 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias en un Inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	79
15 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	79
16 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno en un Inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	84
17 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	84
18 Prueba de comparación de promedios de UFC de Actinomicetos en un Inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	89
19 Prueba de comparación de promedios de UFC de Actinomicetos en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	90
20 Prueba de comparación de promedios de UFC de Hongos En un Inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	95
21 Prueba de comparación de promedios de UFC de Hongos en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	95
22 Algunos géneros de hongos presentes en un inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	96
23 Algunos generos de hongos presentes en un mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	96

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1 Procesos de vinaza y alcohol carburante	7
2 Distribución de los suelos, tratamientos y repeticiones	29
3 Biomasa microbiana-C entre épocas de muestreo en un inceptisol y Un molisol del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	49
4 Biomasa microbiana-C entre tratamientos en un inceptisol y Un mollisol del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	52
5 Biomasa microbiana-C entre tratamientos y épocas de muestreo de un inceptisol y un mollisol del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl	53
6 Actividad microbiana-CO ₂ entre épocas de muestreo en un Inceptisol y un molisol del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	60
7 Actividad microbiana-CO ₂ entre tratamientos en un Inceptisol y un molisol del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	63
8 Actividad microbiana -CO ₂ entre tratamientos y épocas de muestreo de un inceptisol y un mollisol del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl	64
9 Cociente metabólico.qCO ₂ entre épocas de muestreo en un Inceptisol y un molisol del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	69
10 Cociente metabólico.qCO ₂ entre tratamientos en un Inceptisol y un molisol del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	74

	Pág.
11 Cociente metabólico. qCO_2 entre tratamientos y épocas de muestreo de un inceptisol y un mollisol del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl	75
12 Bacterias en un mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl	80
13 Bacterias en un inceptisol y un mollisol del Valle del Cauca Sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl	82
14 Bacterias fijadoras de nitrógeno entre tratamientos un inceptisol Sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl.	86
15 Actinomicetos entre tratamientos y épocas de muestreo en un inceptisol y un mollisol del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl	91
16 Acumulación de biomasa -cultivo de maíz dulce en un inceptisol y un mollisol sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl	102

Lista de anexos

	Pág.
1. Propiedades físicas de los suelos Florida y Manuelita	111
Resumen de las pruebas de comparación de medias entre tratamientos y muestreos Suelos de Florida y Manuelita	
2. Biomasa microbiana-C	112
3. Actividad microbiana $-\text{CO}_2$	114
4. Cociente metabólico $-q\text{CO}_2$	116
5. Bacterias. UFC	118
6. Bacterias Fijadoras de Nitrógeno UFC	120
7. Actinomicetos UFC	121
8. Hongos UFC	122
9. Porcentajes de humedad entre tratamientos y muestreos	124
10. Acumulacion de biomasa-cultivo de maíz dulce	124

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con la industrialización del etanol carburante la generación del residuo de la industria alcoquímica " vinaza" tiende a incrementarse, lo cual representa una fuerte amenaza para el equilibrio ambiental por su gran carga contaminante, ya que este residuo presenta elevado índice de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), sin embargo, cuando se aplica en el suelo, disminuye su potencial contaminante, debido al poder "buffer" del mismo.

Para mitigar el impacto contaminante, la vinaza ha sido objeto de investigaciones, dándole uso en el suelo, como mejorador, enmienda o abono orgánico y para lo cual se han realizado algunos trabajos de investigación sobre su efecto químico en el suelo, algunos sobre los efectos físicos y muy pocos con relación a la influencia en los componentes biológicos, como presencia y actividad microbiana, considerados como indicadores sensibles a los cambios ocurridos en el suelo, que permiten inferir sobre diversos factores que afectan el equilibrio del suelo y su relación con los cultivos.

En Colombia se han adelantado muy pocas investigaciones con vinaza, Por lo que se hace cada vez mas necesario aportes de esta índole, que contribuyan con alternativas de uso, con un efecto positivo en el equilibrio ambiental.

Hasta ahora en el Valle del Cauca se desconoce la influencia de la aplicación de Vinaza, sobre la presencia, biomasa, actividad microbiana del suelo, y su relación con el rendimiento de los cultivos; por lo cual se espera que la presente investigación, con el cultivo de ciclo corto - maíz dulce (*Zea Mayz*) bajo condiciones de invernadero, permita establecer de manera preliminar algunos parámetros de uso de la vinaza en el suelo, a partir de la estimación de su influencia sobre la presencia, biomasa, actividad microbiana en el suelo y su relación con el rendimiento de maíz (*Zea Mayz*).

Lo anterior con la perspectiva de obtener información que contribuya en el campo agrícola a través del aprovechamiento del residuo, desde el punto de vista de rendimiento, y en el campo ambiental a partir de la obtención de información indicadora de la dinámica microbiana bajo el efecto de diversas dosis del residuo aplicado en diferentes épocas del cultivo de maíz.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar en condiciones de invernadero el efecto de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana en 2 ordenes de suelo del valle del Cauca en el cultivo de maíz dulce (*zea mays*).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar caracterización inicial de propiedades químicas (pH, elementos mayores y menores, materia orgánica, CIC), físicas (Textura, Densidad aparente, conductividad hidráulica, estabilidad de agregados) y biológicas (biomasa - C, actividad – CO₂, diversidad y cuantificación microbiana)
- Cuantificar bacterias, hongos, actinomicetos, presentes en el suelo posterior a la aplicación de vinaza.
- Identificar bacterias y hongos, presentes en el suelo posterior a la aplicación de vinaza.
- Correlacionar la diversidad, actividad microbiana-CO₂ y biomasa microbiana con el efecto de la aplicación de vinaza
- Correlacionar la dosificación y épocas de aplicación de vinaza con el rendimiento en la producción de maíz (*Zea mays*), actividad, biomasa microbiana y la presencia de hongos, bacterias, actinomicetos y micorrizas.

2. MARCO TEORICO

2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA VINAZA

La vinaza puede ser definida como una “suspensión marrón, de naturaleza ácida, subproducto de la fermentación del alcohol o del aguardiente, generada a temperatura aproximada de 107°C y de olor desagradable. También conocida como restilo o grapa, una tonelada de caña produce aproximadamente, 800 litros de vinaza.

La vinaza cuando es colectada en los alambiques de descarga, presenta un color pardo claro y en la medida que está expuesta al aire se oxida, oscureciéndose. Presenta pH bajo (3,5-4,5) y la presencia de ácido sulfúrico libre (utilizado para la fermentación) da propiedades corrosivas al subproducto. La composición es muy variable, pero generalmente es rica en nitrógeno, potasio, calcio, azufre y normalmente pobre en fósforo. La composición química de la vinaza (Tabla 1) indica que la materia orgánica es el principal constituyente y entre los minerales, el potasio en conjunto con el calcio son los más sobresalientes. (Korndörfer, 2004)

Tabla 1. Composición química de la vinaza

Elementos	Calda mezclada
	-----Kg/m ³ -----
N	0.33-0.48
P ₂ O ₅	0.09-0.61
K ₂ O	2.10 -3.40
CaO	0.57 -1.46
MgO	0.33 -0.58
SO ₄	1.50
Mat Orgánica	19.1-45.1
	-----ppm-----
Cu	2-57
Zn	3-57
PH	3-50
Relación C/N	15

Fuente: Adapatación de Korndorfer & Anderson (1997)

2.2 COMPUESTOS ORGÁNICOS EN VINAZA

Entre los compuestos identificados, los de mayor concentración está el glicerol, el ácido láctico y el sorbitol; debido a su importancia comercial, resulta interesante adelantar evaluaciones técnico – económicas para estudiar la ruta de extracción y aprovechamiento de éstos y los restantes compuestos de la vinaza.

Otro estudio por desarrollar consiste en identificar la asimilación y transformación que la flora microbiana de los suelos puede hacer a partir de los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en la vinaza, y conocer su efecto en el mejoramiento de la productividad agrícola (MORALES, 2004)

Tabla 2 Composición de la vinaza concentrada (64.8° Brix).

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (%m/m)
2,3 Butanodiol	0.01
2- metil-1,3-butanodiol	0.20
Glicerol	2.70
Sorbitol	1.40
Ácido láctico	1.30
Ácido Succinico	0.07
Ácido málico	0.23
Ácido Aspartico	0.05
Ácido Aconitico	1.80
Ácido Cítrico	0.80
Ácido Quínico	0.70
β -Fructofuranosa	0.50
α -glucopiranososa	0.30
Sacarosa	0.20
Trehalosa	0.30

Fuente: Morales (2004)

2.3 TIPOS DE VINAZA

El tipo de Vinaza depende directamente del proceso de obtención de alcohol y tratamiento que se realice para separar el alcohol de la melaza ya fermentada y para disponer la misma Vinaza.

La vinaza proveniente de la destilería puede variar de acuerdo con la materia prima para la fermentación. Pueden ser Almidones, Cereales, Melazas, Jugo de Caña, en sí, productos que contengan unidades de glucosa.

La composición de la vinaza varía de acuerdo con el material usado para la elaboración del alcohol, cuando éste se elabora a partir de la melaza se genera vinaza de mayores contenidos de materia orgánica y de elementos mayores y menores que cuando procede de jugo o de la mezcla de jugo y melaza Gloria y Orlando, (1983), citados por Quintero (2004)

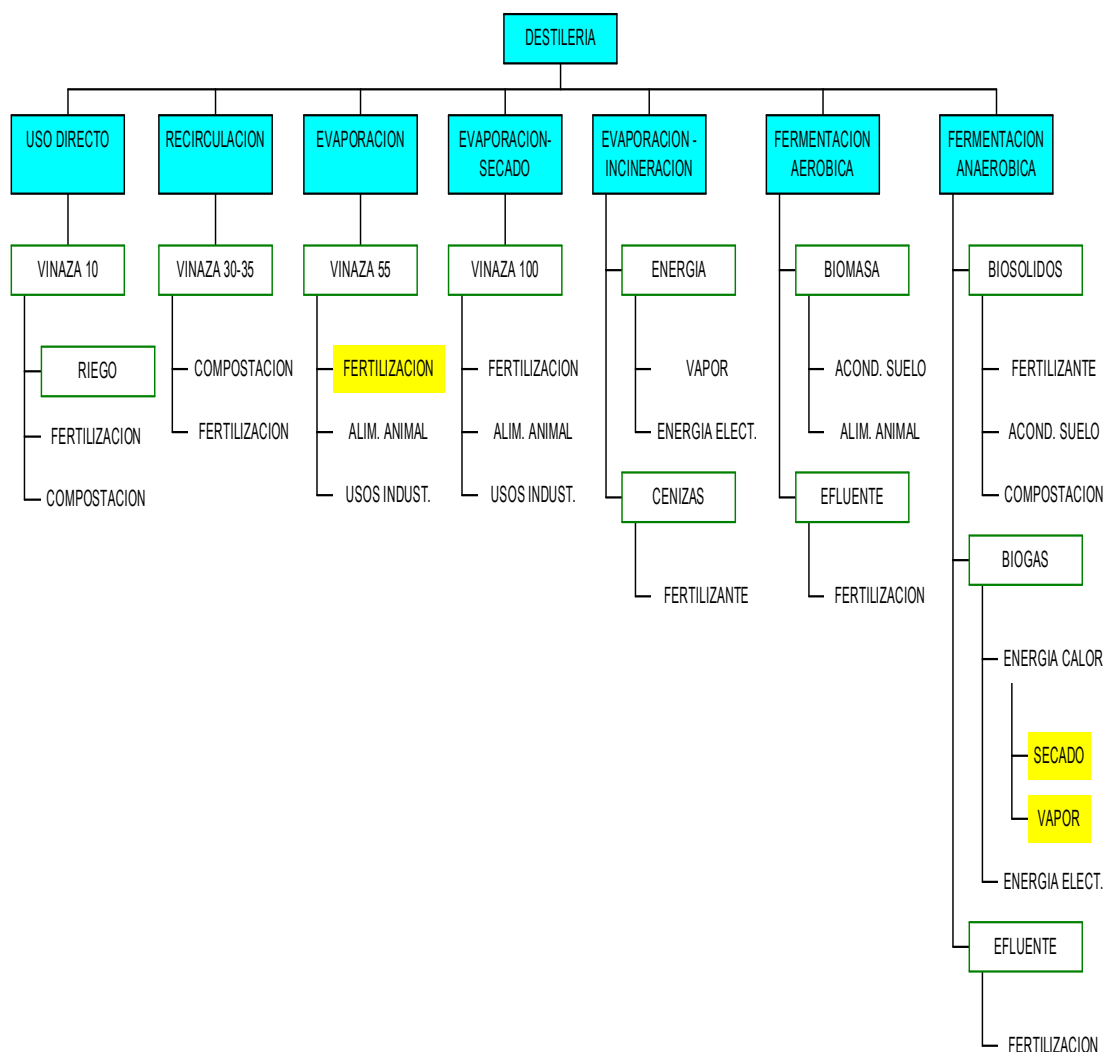


Figura 1 Procesos de vinaza y alcohol carburante. Gnecco (2004)

Las vinazas producidas en las destilerías localizadas en el Valle del Cauca presentan contenidos de sólidos totales de 10 y de 55% y en ambas sobresalen los contenidos de materia orgánica, potasio, sulfatos y óxidos de calcio y de magnesio (Quintero 2004)

2.4 ALTERACIONES EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Según Quintero (2004) La aplicación de la vinaza al suelo produce alteraciones en las características físicas, químicas y biológicas (tabla 3)

Tabla 3 Características de las vinazas de 55% y de 10% de sólidos totales.

Análisis	Unidad	Vinaza 55% s.t.	Vinaza 10% s.t.
Materia orgánica	(%)	47.77	4.20-6.70
N	(Kg/m ³)	4.30	0.63-1.14
P ₂ O ₅	(Kg/m ³)	0.50	0.07-0.25
K ₂ O	(Kg/m ³)	41.00	6.00-10.86
CaO	(Kg/m ³)	7.00	1.05-3.14
MgO	(Kg/m ³)	9.00	1.34-2.26
SO ₄ ²⁻	(Kg/m ³)	35.00	3.88
pH	(Kg/m ³)	4.3-4.5	3.5-4.3
Densidad	(Kg/m ³)	1.35	1.03

2.4.1. Efecto físico

Los efectos de la vinaza en las características físicas del suelo han sido poco estudiadas. Camargo *et al.* (1988), citado por Korndörfer *et al* (2004), estudiando los efectos en un suelo oxisol arcilloso tratado con dosis crecientes de vinaza, observaron que no hubo alteraciones de la arcilla dispersada en agua, de la camada superficial (Tabla 4), por probable

influencia de la materia orgánica. El aumento de la actividad microbiológica acompañada de la excreción de mucílago, estimula la agregación de las partículas, cuando efectuada la aplicación de vinaza.

Según Korndörfer *et al* (2004), con relación a la agregación y porosidad del suelo, Camargo *et al.* (1988), mostraron que el uso de la vinaza no afectó la densidad global y la porosidad total del suelo. Esos autores comprobaron que el aumento se debía a la materia orgánica y no a los cationes ligantes como el calcio.

Tabla 4. Efecto de la aplicación de vinaza en los contenidos de arcilla dispersada en agua, para diferentes profundidades del suelo. Korndörfer *et al* (2004)

Profundidad	SUPERFICIE		
	Control	“A” 10.000 m ³	“B” 43.000 m ³
Cm.	-----%-----		
0-15	20	19	6
15-30	20	16	10
30-60	22	17	17
60-100	17	22	15

Fuente: Adaptado de Camargo *et al.*, (1983)

La infiltración de agua en el suelo que recibe vinaza aumenta con relación al control. Camargo *et al.* (1988) citado por Korndörfer *et al* (2004) mostraron que la infiltración en suelo arcilloso que recibió 1.000 m³ ha⁻¹, aumenta casi al doble con relación al control. Esa constatación, de acuerdo a los autores, puede estar relacionada con aumento en la estabilidad de la agregación superficial.

Korndörfer *et al* (2004), y Mazza *et al.* (1986), verificaron que grandes aplicaciones de vinaza al suelo pueden aumentar el almacenamiento de agua, la cantidad de agua disponible y los niveles de tensión. Las aplicaciones comerciales no alteran las características. Esos autores también observaron que las aplicaciones de vinaza en suelos oxisoles arcillosos pueden alterar el color en profundidad. El horizonte B de un Latosol Rojo de color 10YR 4/4 pasó para 5YR 3/6, lo que está sugiriendo modificaciones en las formas de óxidos de hierro.

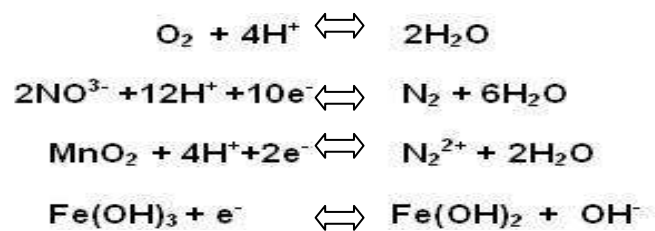
2.4.2 Efecto químico

Korndörfer *et al* (2004) sostienen que los primeros estudios discutiendo los efectos debidos a la aplicación de vinaza fueron realizados por Almeida (1952). El aumento generalizado de cationes intercambiables fue verificado por varios autores en diferentes tipos de suelos (Magro, 1974; Nunes *et al.*, 1981; Orlando Filho, 1983; Camargo *et al.*, 1983). En consecuencia de la alteración de la cantidad de cationes ocurre una alteración en la suma y porcentaje de saturación de bases. Nunes *et al.* (1982), estudiando el potasio, calcio y magnesio, observaron un aumento en la lixiviación de esos cationes debido al aumento de las dosis de vinaza y que el magnesio fue proporcionalmente más lixiviado que el calcio. La aplicación de vinaza causó la elevación del pH, de 4,4 a 6,0, efecto observado después de los primeros días de incubación, durando los 66 días en que fue realizado el experimento. Aumentos sensibles del pH en el suelo fueron observados por Glória & Magro, 1977; Santos *et al.*, 1981; Orlando Filho, 1983; Camargo *et al.*, 1983;

Korndörfer & Anderson, 1997). Tal aumento ha sido atribuido a las condiciones anaeróbicas locales y temporales (disminución del potencial redox) y el aumento de la saturación de bases (Camargo *et al.*, 1983) y de la actividad microbiológica (Eira & Carvalho, 1970; Nunes *et al.*, 1981).

Korndörfer *et al.* (2004) afirma que en un suelo tratado con vinaza, el potencial redox y el pH varían: aumenta el pH y disminuye el potencial redox (reacciones de reducción). En condiciones de anaerobiosis los compuestos orgánicos liberan electrones.

El proceso de reducción inducido por la vinaza consume protones (iones H⁺), principal responsable del aumento en el pH del suelo; ejemplo:



El mismo autor sostiene que en relación a la alteración del punto de carga cero (PCC), debido al uso de la vinaza, los autores observaron que esa propiedad del suelo puede disminuir por el aumento de la materia orgánica.

Con relación a la salinidad, Camargo *et al.* (1987) observaron que la distribución en dosis bajas (100 m³. Ha⁻¹) por aplicación, en suelo oxisol

arcilloso, no alcanzó valores peligrosos de conductividad eléctrica (índice pluviométrico relativamente alto - 1.400 mm).

Korndörfer *et al* (2004) sostiene que, Camargo *et al.* (1987) estudiaron la dinámica de las formas de nitrógeno y de azufre en suelo tratado con vinaza. Constataron que el tenor de nitrato en todos los tratamientos casi siempre fue mayor que el de amoníaco, lo que ya era esperado, porque la velocidad de la reacción favorece la nitrificación. Los contenidos de S-SO₄²⁻ aumentaron con relación al control, tanto en la superficie como en los horizontes mas profundos (40 a 80 cm), evidenciando acentuada lixiviación.

Aunque la vinaza presenta bajos contenidos de micro nutrientes, (TABLAS 5 y 6), se encuentran presentes y pueden aumentar su disponibilidad en el suelo. Camargo *et al.* (1983) observaron que en todos los tratamientos con aplicación de vinaza, el contenido de micro nutrientes en el suelo aumentó con relación al control (Tabla 6)

TABLA 5. Cantidad aproximada de micro nutrientes y materia orgánica adicionados al suelo con la aplicación de 150 m³. Ha⁻¹ de vinaza (caldo mezclado).

MICRONUTRIENTES	VINAZA 150 m³/ ha - Adicionado
Cu	4.4 Kg ha ⁻¹
Zn	4.0 Kg ha ⁻¹
Mn	0.9 Kg ha ⁻¹
M.O.	4800 Kg ha ⁻¹

Fuente: Adaptación de Korndorfer & Anderson (1997)

TABLA 6. Modificaciones en los contenidos de K, micro nutrientes y materia orgánica de un suelo 'LVe' (Ingenio São Martinho) debido a la aplicación de vinaza (área de descarte). Korndörfer *et al* (2004)

TALIONES	K⁺	Zn⁺⁺	Cu⁺⁺	M. Orgánica
Profundidad	meq/100	-----ppm-----	-----%-----	
Control				
0 - 15	0.14	0.6	1.2	1.7
15 - 30	0.12	0.7	1.0	1.5
30 - 60	0.10	0.5	0.5	1.4
60 -100	0.06	0.4	0.4	1.0
“A” (10.000 m³ /ha) ⁽¹⁾				
0 - 15	0.30	0.7	1.5	1.9
15 - 30	0.15	0.8	1.1	1.6
30 - 60	0.13	0.8	0.9	1.2
60 -100	0.16	0.4	0.4	1.0
“B” (43.000 m³ / ha) ⁽²⁾				
0 - 15	0.75	2.8	3.6	4.2
15 - 30	0.76	2.5	3.6	3.4
30 - 60	0.79	1.8	1.3	1.8
60 -100	0.95	1.3	0.7	1.2

⁽¹⁾ Talion “A” = vinaza aplicada entre los años de 1970 a 1974

⁽²⁾ Talion “B” = vinaza aplicada entre los años de 1975 a 1978

Fuente: Adaptado de Camargo, *et al.*, (1983)

2.4.3 Efecto biológico

Según Korndörfer *et al* (2004) La aplicación de vinaza genera cambios temporales en la población de microorganismos del suelo, con alteraciones en los procesos biológicos y químicos, tales como: descomposición de la materia orgánica, nitrificación, desnitrificación, fijación de N₂ atmosférico y aumento del pH (Lima, 1980). Los efectos de la aplicación de vinaza en las poblaciones microbianas del suelo fueron estudiados *in vitro* por Neves *et al.* (1983). Aumentos substanciales, aunque pasajeros, fueron observados en las poblaciones de hongos y bacterias, permaneciendo inhibida la población de actinomicetos.

La aplicación de vinaza no solamente introdujo carbono, como también nitrógeno asimilable. Esto significó inicialmente un pequeño aumento de la población bacteriana no fijadora de N e inhibió pasajeramente la población de bacterias fijadoras de N del género *Beijerinckia*. La población de *Beijerinckia* aumentó rápidamente después de la disminución de la población de bacterias no fijadoras, ocurriendo una correlación negativa y significativa entre estos grupos de microorganismos. Ese aumento de la actividad microbiana, se debe a la existencia en la vinaza de fuentes orgánicas que proporcionan energía para los microorganismos y aumenta la velocidad de crecimiento de la masa microbiana. Para el crecimiento de la masa microbiana se requiere una fuente adicional de N, lo que puede llevar a una “inmovilización temporal” del N mineral 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. El mismo autor afirma que, Lopes *et al.* (1986) estudiando los efectos residuales de la vinaza en la población de *Rhizobium* del suelo, observaron aumentos en la nodulación de crotalaria y disminución en el caso de maní.

2.5 APORTE INVESTIGATIVO SOBRE LA INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN EL RENDIMIENTO DE DIVERSOS CULTIVOS Y SU EFECTO EN EL SUELO

2.5.1 Caña de azúcar

Se efectuó un estudio con el fin de valorar el efecto de la aplicación de la vinaza sobre las variables agronómicas e industriales de la variedad SP71-5574. Las dosis de vinaza evaluadas se fijaron con base en la cantidad de potasio aportada por la vinaza (2 g/l), y la cantidad necesaria para complementar con el potasio aplicado a la siembra, en un total de 87 y 125 Kg de K_2O /ha. Esas dosis se diluyeron en agua para evitar posibles daños (quema) al cultivo, y compararon con un testigo adicional sin potasio y las dosis de 50-100 y 150 Kg/ha de K_2O , aplicadas con fertilizante químico (KCl). En las socas se comparó 3 dosis de potasio (50, 75 y 125 K_2O /ha) utilizando como fuente la vinaza y el cloruro de potasio respecto a un testigo (0 Kg K_2O /ha). Las dosis de vinaza evaluadas fueron 20, 37 y 62 m³/ha aplicadas en forma pura y diluida (25 %).

También se realizaron varios análisis de suelo para conocer posibles alteraciones en su composición química. Los resultados de las tres cosechas no presentaron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las variables evaluadas, a pesar de que con la dosis de 135 litros de vinaza (125 Kg de K_2O /ha), se obtuvo entre 5 y 14% de diferencia en azúcar (TM/ha) respecto al testigo. En el segundo y tercer corte el tratamiento con 37 m³/ha

de vinaza (75 Kg/ha K₂O) superó al testigo en la producción de azúcar (TM/ha) en 19% y 25% superando a todos los tratamientos con fertilizante químico.

Se concluye que los tratamientos aplicados con fertilizante químico en todos los cortes no fueron tan positivos como los de vinaza, posiblemente por su aporte en otros nutrimentos esenciales para el cultivo. La dilución no pareció afectar los

rendimientos. Los análisis de suelo demostraron que la vinaza mejoró el pH del suelo, disminuyó el aluminio intercambiable e incrementó la concentración de potasio. También se mejoraron las relaciones catiónicas, principalmente entre el calcio y el magnesio, en algunos tratamientos. Estos resultados y los obtenidos en otros estudios similares, permiten concluir que la vinaza es un excelente producto orgánico mejorador del suelo (Vargas, 1987).

2.5.2 Café

Con el propósito de determinar los efectos de la vinaza en comparación con la fertilización química, recomendada en almácigos de café en bolsa, se midieron variables de crecimiento (número de ramas plagiotrópicas, diámetro basal del tallo, crecimiento ortotrópico, peso fresco de raíces y peso fresco del follaje). Se tomaron muestras de suelo y foliares. Se observó, que la fertilización ya sea química u orgánica produce efectos evidentes en el crecimiento y desarrollo de los almácigos de café; siendo que la vinaza fraccionada superó al resto de los tratamientos en crecimiento ortotrópico,

número de ramas plagiotrópicas, diámetro basal del tallo y peso fresco del follaje.

En las fuentes de fertilización química sólo el crecimiento ortotrópico alcanza diferencias estadísticas a favor de la combinación: fórmula integral - nitrógeno. Se notó mejoras evidentes en la relación de pH y contenido en el suelo de potasio, fósforo y magnesio para tratamientos con vinaza. (Vargas, 1987)

2.5.3 Maíz

2.5.3.1 Rendimiento y propiedades físicas del suelo:

En la Fábrica Nacional de Licores, en Grecia, prov. Alajuela, Costa Rica, se estableció un experimento con el objetivo de comparar la dosis de N mineral que aplica comúnmente el agricultor, con tres dosis de vinaza; además, comparar tres dosis diferentes de vinaza en tres distintas épocas de aplicación, sobre la productividad del maíz y su efecto en las principales propiedades físicas del suelo.

Las variables evaluadas fueron: - Rendimiento en kg/ha de maíz seco al 13% de humedad. - Porcentaje de germinación. - Altura de la planta de maíz.

Propiedades físicas del suelo

Hubo mayor porcentaje de germinación del maíz, así como mayor altura de la planta, utilizando vinaza, comparado con el fertilizante y el testigo. El

mayor rendimiento de maíz seco/ha se obtuvo con el abono orgánico (vinaza), comparado con el fertilizante y el testigo: 7776,14 kg/ha, 6904,72 kg/ha y 6116,-4 kg/ha, respectivamente, siendo estas medias estadísticamente diferentes ($P < 0,01$).

En cuanto a los rendimientos medios de maíz, obtenidos por las dosis de vinaza, las diferencias entre ellos fueron pequeñas y estadísticamente no significativas ($P > 0,05$), los promedios fueron $7693,61 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $7827,01 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $7807,74 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para las dosis de 180, 200 y 220 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, respectivamente. De las variables físicas evaluadas, solamente la conductividad hidráulica e infiltración mostraron diferencias significativas con importancia práctica. Debido a las altas cantidades de vinaza aplicada, se determinó el extracto de saturación, en donde se encontró aumentos en la conductividad eléctrica, Na, y la relación de adsorción de Na, mientras que el Ca disminuyó. (Vargas, 1987)

2.5.3.2 Rendimiento y propiedades químicas del suelo

En el experimento realizado en Grecia, prov. Alajuela, Costa Rica. Cuyos objetivos fueron: evaluar el efecto de la vinaza en tres dosis y tres épocas sobre las propiedades químicas del suelo; además comparar la fertilización química usada por el agricultor, con el abonado con vinaza, en la productividad del maíz. El factorial estuvo constituido por tres dosis de N de vinaza, a saber: 120, 140 y 160 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, en tres épocas de aplicación: 72, 48 y 24 días antes de la siembra. Los otros dos tratamientos fueron: testigo

sin fertilizante y fertilización química. El tamaño de la parcela fue de 27 m² (3,60 x 7,50 m), para un área útil de 22,28 m².

Para evaluar las propiedades químicas del suelo, se realizaron dos muestreos, uno antes de la aplicación de los tratamientos y otra después de la cosecha. Las parcelas abonadas presentaron un mayor porcentaje de germinación, altura y rendimientos, comparado con las fertilizadas y el testigo. El porcentaje de germinación pasó de 60,9% a 71,9% cuando la vinaza fue aplicada 24 y 72 días, antes de la siembra, respectivamente. Se encontró un aumento lineal significativo ($P < 0,05$) de la altura, conforme se aumentó la dosis de vinaza. Respecto a las propiedades químicas del suelo, la aplicación de vinaza produjo aumentos en los contenidos de materia orgánica, pH, N, K y Mg del suelo. Entretanto, los contenidos de Al, Ca y Mn, registrados al final del experimento, fueron menores que los medidos al inicio. El abonamiento con vinaza no alteró significativamente los contenidos de P, Fe, Zn y C.I.C. del suelo (CAMPOS y. VARELA, 1988)

2.6 RESULTADOS DE INVESTIGACIONES SOBRE LA VINAZA EN COLOMBIA

2.6.1 Valle del cauca

2.6.1.1 Vinaza como fertilizante

En Colombia se han realizado pocas investigaciones sobre el manejo y utilización de la vinaza como fertilizante. Entre otras investigaciones, Domínguez y Besosa (1992) no encontraron diferencias significativas en

producción de caña ni en rendimiento de una plantilla de la variedad V 71-51 como consecuencia de las aplicaciones de vinaza en relación con el testigo en un suelo arcilloso del orden Vertisols y caracterizado por presentar medianos contenidos de materia orgánica y altos contenidos de P disponible y de K intercambiable; sin embargo, la vinaza aumentó el rendimiento entre 4 y 11%. Varios investigadores coinciden en que las aplicaciones de vinaza al suelo incrementan el contenido de K intercambiable y al complementarla con aplicaciones de N se obtienen aumentos en la producción de caña.

2.6.1.2 Dosis de vinaza en cultivo de caña y su efecto en la producción y en algunas propiedades del suelo.

Con el fin de determinar las dosis de vinaza más apropiadas para la caña de azúcar y sus efectos en el desarrollo y producción del cultivo y en las propiedades del suelo, Cenicaña está realizando en coordinación con ingenios azucareros y cultivadores de caña de azúcar experimentaciones con diferentes tipos de vinaza consideradas como fuentes orgánicas que aportan principalmente potasio al suelo. Recientemente se cosecharon dos experimentos establecidos en dos suelos del orden Mollisoles de los ingenios Manuelita e Incauca donde se comparan la vinaza de 55% y la vinaza de 10% de sólidos totales con el cloruro de potasio y se evalúan seis dosis de K_2O que varían entre 0 y 250kg/ha con intervalos de 50 kg/ha.

En el Ingenio Manuelita se usó un suelo Palmira (Pachic Haplustolls) franco arcilloso, casi neutro, de contenidos medianos de materia orgánica (2,18%) y

de K intercambiable (0,39 cmol/kg). En Incauca, un suelo Rio La Paila (Fluventic Hapludolls) franco arcilloso, casi neutro, de contenidos bajos de materia orgánica (1,75%) y de K intercambiable (0,18 cmol/kg). Los resultados obtenidos con la variedad CC 85-92 (primer corte) en ambos experimentos muestran que en el Ingenio Manuelita, las vinazas fueron tan eficaces como el cloruro de potasio (Tabla 7).

Tabla 7. Producción de caña y de azúcar y contenidos de sacarosa %caña de la CC 85-92 (Plantilla) obtenidos con tres fuentes de K en dos suelos de los ingenios Cauca y Manuelita(Quintero 2004).

Fuentes	INCAUCA			Ingenio Manuelita		
	TCH	Sacarosa	TAH	TCH	Sacarosa	TAH
KCl	181	13.2	20.9	181	13.1	19.9
V 55%	190	13.4	22.0	179	13.1	19.6
V 10%	194	13.6	22.8	177	13.3	19.9
Promedios	188	13.4	21.9	179	13.2	19.8
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

2.6.1.3 Efectos residuales de la vinaza aplicada durante 20 años consecutivos en suelos de los ingenios Manuelita y Riopaila.

Los efectos acumulados de la vinaza aplicada consecutivamente durante 20 años en algunas propiedades químicas de varios suelos en los ingenios Manuelita y Riopaila, presentados en la tabla 6, indican que los mayores efectos se detectaron en los primeros 20 cm de profundidad. Las aplicaciones de vinaza aumentaron ligeramente los valores de pH y los contenidos de materia orgánica, Mg y Na intercambiables y la conductividad

eléctrica, y aumentaron notoriamente los contenidos de P disponible y de K intercambiable en ambas profundidades. Estos incrementos en el K intercambiable disminuyeron la relación (Ca+Mg)/K intercambiables en los primeros 20 cm de profundidad, lo cual indica mejor balance de los cationes intercambiables y mayor facilidad en la absorción del K por parte del cultivo.

Tabla 8. Variación de algunas propiedades químicas de varios suelos debido a las aplicaciones sucesivas de vinaza durante los últimos 20 años en los ingenios Manuelita y Riopaila (Dos profundidades)(Quintero 2004).

Propiedades	Profundidad 0-20 cm.		Profundidad 20-40 cm.	
	Con vinaza	sin vinaza	Con vinaza	sin vinaza
pH	6.68	6.63	6.83	6.80
Materia orgánica= %	3.35	3.19	2.08	2.61
P= ppm	50.40	28.30	28.60	23.72
Ca=cmol/Kg	16.59	17.35	17.51	16.02
Mg= cmol/Kg	9.23	8.98	9.80	8.46
K= cmol/Kg	0.70	0.40	0.49	0.37
Na= cmol/Kg	0.34	0.21	0.39	0.23
C.E.= dS/m	0.44	0.39	0.41	0.23
(Ca + Mg)/K	37.00	66.00	67.00	66.00

INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS

Según Quintero (2004), el plan de investigaciones sobre el uso de la vinaza en suelos del valle del río Cauca incluye además, experimentaciones sobre recuperación de suelos sódicos y preparación de abonos orgánicos. Se estima que en la parte plana del valle del río Cauca existen entre 15.000 y 20.000 hectáreas afectadas por la presencia de Na y la recuperación de algunas de estas áreas demandará cantidades relativamente altas de vinaza. Así mismo, gran parte de la vinaza generada en la elaboración del

alcohol se destinará al enriquecimiento o preparación de abonos orgánicos de residuos de cosecha, cachaza, ceniza proveniente del bagazo usado como combustible y lodos que aplicados al suelo sustituirán parte de los fertilizantes y mejorarán la fertilidad del suelo. A mediano plazo o cuando se disponga de los equipos apropiados para aplicar vinaza al campo se adelantarán investigaciones relacionadas con las formas o métodos de aplicación, lo mismo que con el uso de mezclas de vinaza con otros fertilizantes para definir pautas que conduzcan al manejo eficaz de este subproducto proveniente de la elaboración de alcohol.

2.8 PRINCIPALES CULTIVOS EN EL VALLE DEL CAUCA Y SITUACION ACTUAL DE LOS SUELOS

La principal explotación agrícola de la región ha sido la caña de azúcar, pero también se cultiva algodón, maíz, sorgo, tabaco, tomate y frutales.

Tradicionalmente se han considerado los suelos Vallecaucanos como de alta fertilidad; sin embargo, en los últimos años una buena parte de los suelos se han tornado deficientes en potasio y, ocasionalmente en fósforo, particularmente en aquellas áreas de explotación agrícola intensiva. De otra parte, la ocurrencia de suelos salinos y sódicos se ha incrementado acentuadamente, cubriendo 80.000 hectáreas aproximadamente (MONOMEROS, 1991).

2.9 EXPECTATIVAS SOBRE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN CULTIVO DE MAÍZ

Considerando:

- ✓ Los problemas de fertilidad que presentan actualmente los suelos vallecaucanos, lo cual probablemente se manifiesta como consecuencia del desequilibrio en las interacciones físicas, químicas y biológicas del suelo causadas por de la explotación intensiva.
- ✓ La vinaza como un residuo contaminante al no tener una disposición final adecuada, pero con una gran carga de materia orgánica, buena fuente de potasio, nitrógeno y fósforo
- ✓ El maíz como un cultivo tradicional en el Valle del Cauca que requiere para su desarrollo suelos ricos en materia orgánica, potasio, y en mayor proporción nitrógeno.

A partir de lo anterior, se puede proyectar el problema que se avecina con el incremento de la producción de vinaza, hacia una oportunidad de aprovechar este subproducto de manera adecuada, en el cultivo de maíz y en otros cultivos

del Valle del Cauca y de este modo incluir el uso de las vinaza en una opción de desarrollo sostenible en el departamento, para lo cual es necesario incrementar las investigaciones que aporten resultados sobre el efecto de este residuo tanto en rendimiento como en el comportamiento de la dinámica física, química y biológica del suelo.

2.10 IMPORTANCIA DE LA CORRELACIÓN VINAZA VS DINÁMICA MICROBIANA DEL SUELO –CULTIVO

El mayor componente de la vinaza corresponde a la materia orgánica, la cual según BURBANO (1989), juega un importante papel en el suelo, ya que regula los procesos químicos que allí suceden e influye sobre las características físicas y , además configura el núcleo de casi todas las actividades biológicas que se desarrollan en el suelo, por parte de la microflora, la fauna y también del sistema de raíces de las plantas superiores y consecuentemente, para la conservación del suelo y del agua

2.11 Indicadores de la dinámica microbiana en el suelo

- **Poblaciones totales de microorganismos:** La cantidad de microorganismos depende del tipo de suelo y de la diversidad de plantas. Existen evidencias de que al parecer en cada suelo se establece una microbiota característica del mismo, compuesta fundamentalmente por aquellos microorganismos capaces de desarrollarse en las condiciones particulares de cada ecosistema, incluyendo, tipo de sustratos utilizables (Fernández y Novo,1998)

- **Diversidad microbiana:** diferenciación de grupos microbianos presentes en el suelo a partir de la extracción de su ADN, (Insam, Kirk, *et al.* , 2001 , citado por Nogales, 2005)

- **C- Biomasa microbiana:** Se relaciona con el carbono orgánico, donde se establece qué proporción de carbono orgánico en el suelo es inmovilizado por los microorganismos. Según Anderson y Domsch, 1986, citados por Rojas (2002).
- **CO₂ –Actividad microbiana:** Se relaciona con la medida de CO₂ que se produce en el suelo como resultado de la actividad metabólica, medida por respirometría mediante el método de CAB (Centro de Agrobiología del Brasil- $\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo.)

Población de micorrizas: Los efectos benéficos de la MA han sido demostrados repetidamente en las más variadas condiciones y especies vegetales. Las más importantes funciones que cumple la simbiosis pueden resumirse así: Efecto sobre la biomasa de las plantas y su distribución, absorción de nutrimento (absorción de *P* y otros nutrimentos como el *K*, *Zn*, *Cu*, *Mg*, *B*, *Ca*, *Mo*, *Cd*, *Ni*, *Fe*, *Mn*, *Sr*), efecto en las relaciones agua-planta. Resistencia a la sequía, sobre la tasa fotosintética de los hospederos, efectos hormonales, efecto en las condiciones adversas al suelo, efecto sobre el reciclaje de nutrimentos, efecto sobre la agregación del suelo, efecto sobre las actividades de otros microorganismos, efectos sobre fitopatógenos e incremento de la rizosfera (Sánchez 1999).

3. METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACION.

La presente investigación se realizó en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia, municipio de Palmira, Valle del Cauca, ubicado a una altura de 1050 m.s.n.m., con una temperatura media de 23⁰C. y 70 % de humedad relativa

3.2 TIPOLOGÍA DE LOS SUELOS

El criterio de selección de los suelos se basó en bajos contenidos de potasio y de este modo hacer las aplicaciones de vinaza como un aporte del mismo. Los suelos estudiados corresponden a un Inceptisol y un mollisol provenientes del municipio de Florida y Palmira respectivamente.

El Inceptisol corresponde a un lote destinado al cultivo de maíz, pertenece a la consociación PORVENIR; representa la unidad del conjunto PORVENIR (Typic Argiudoll), con inclusiones de Entic Dystropept (IGAC, CVC, 2004).

El Mollisol proviene de un lote del ingenio Manuelita, destinado al cultivo de caña de azúcar; pertenece a la asociación de los suelos Manuelita Nima. Asociación de familias vertic haplustolls (IGAC, CVC, 2004).

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó un diseño completamente al azar, donde los tratamientos tuvieron una estructura factorial 4x5x2: 4 mezclas de potasio, 5 repeticiones y 2 clases a nivel de orden de suelo. Para un total de 40 unidades experimentales.

La fertilización se realizó en 2 épocas (50% antes y 50% después de floración), y las mezclas de potasio se establecieron como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9 Mezclas de potasio aplicado 50% antes y 50% después de floración

Mezclas de potasio
T1- 100% KCl
T2 -100% vinaza
T3 -50% vinaza+50% KCl
T4-75% vinaza +25% KCl

***Vinaza: Concentración 25%**

Las unidades experimentales fueron materas cultivadas con maíz dulce, correspondiente al híbrido GSS 4644. La fertilización por materia se estableció con base en la densidad del cultivo (0.9 metros entre hileras por 0.20 cm entre plantas para una densidad de 55555.55 plantas · ha⁻¹).

La distribución de los tratamientos en cada uno de los suelos se hizo al azar como se muestra en el mapa de campo del experimento (figura 2)

Figura 2. Distribución de los suelos, tratamientos y repeticiones

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

F: suelo Florida M: Suelo Manuelita T: Tratamiento R: Repetición

Se aplicó vinaza del 25% de sólidos con la composición química señalada en la tabla 10.

Tabla 10 Composición química de vinaza del 25%

Elemento	Contenido -----Kg · m ⁻³ -----
N	0.007
P ₂ O ₅	0.020
K ₂ O	33.91
CaO	1.73
MgO	3.48
SO ₄	0.031
Na	2.236

Fuente: Laboratorio CIAT

Las variables evaluadas fueron las siguientes: Biomasa microbiana-C, Actividad microbiana-CO₂, Cociente metabólico, cuantificación microbiana (Bacterias, bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos, Hongos),

diversidad bacteriana, identificación de algunos géneros de hongos y bacterias, antes y después de la fertilización. Porcentaje de colonización de micorrizas y acumulación de biomasa en tallos y forraje al cosechar.

3.4 ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO

3.4.1 Campo

La fase de campo comprendió la colecta de muestras de suelo y el transporte de la vinaza hasta las instalaciones de la universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira.

3.4.2 Invernadero

Adecuación de las unidades experimentales (materas), muestreo previo a la siembra del maíz dulce (*Zea Mays*), siembra, adición de las diferentes fuentes de fertilización. En la tabla 11 se describen los muestreos realizados durante la investigación

Tabla 11. Descripción de los muestreos

MUESTREO	DIAS	ETAPA
Muestreo 1 (antes de fertilizar)	0	Antes de la siembra
Muestreo 2 (Después de la 1 ^{ra} fertilización)	28	Prefloración
Muestreo 3 (Después de la 2 ^a fertilización)	61	Floración
Muestreo 4 (Cosecha)	79	Llenado de grano

3.4.3 Laboratorio

Caracterización química

La caracterización química de los suelos utilizados fue realizada en el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, con base en la metodología IGAC (1995). Las propiedades evaluadas fueron las siguientes: pH (potenciómetro 1:1), CIC (Acetato de amonio 1N. PH 7.0, % M.O. (Walkey Black), Macro y micronutrientes (absorción atómica), fósforo (Bray II y Olsen)

Caracterización física

La caracterización física de los suelos utilizados fue realizada en el laboratorio de física de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Las propiedades evaluadas fueron: Densidad aparente (Núcleo, cilindro-Mondragón y Montenegro, 1990), densidad real (picnómetro), Textura (pipeta), Estabilidad estructural (Yorder), porosidad total (calculado matemático), conductividad hidráulica (permeámetro de cabeza constante)

3.4.3.1 Cuantificación de comunidades microbianas

La metodología utilizada corresponde a la adoptada por el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, desarrollada en los siguientes pasos:

- se tomaron las muestras de suelo por triplicado para cada unidad experimental, se homogenizaron y fueron secadas al aire, luego se tamizaron a 2 mm, y se retiraron 200 g de suelo para la estimación de unidades formadoras de colonias de microorganismos, mediante la preparación de diluciones en serie hasta 10^9 , y conteo en platos de dilución, tomando tres repeticiones para cada dilución (Correa, 2001).
- Estimación de Unidades Formadoras de Colonias Bacterianas: Se utilizaron diluciones de suelo en agua destilada desde 10^{-4} hasta 10^{-9} , vertidas sobre medios de cultivo para la siembra de extracto de suelo –Glucosa- Agar (ESGA). A partir de las 24 horas se incubaron a una temperatura de 28°C se empezó a cuantificar el numero de colonias desarrolladas en cada dilución. Para el conteo se tomaron en cuenta las repeticiones donde se desarrollaron menos de 100 colonias bacterianas (Benjumea, 1998)
- Estimación de Unidades Formadoras de Colonias Fungosas: Se utilizaron diluciones de la muestra 10^{-4} hasta 10^{-7} , vertidas sobre extracto de suelo-Glucosa-Agar (ESGA). Después de 7 días de incubación se realizó el conteo de colonias, descartándose las diluciones de mas de 30 colonias fungosas.
- Estimación de Unidades Formadoras de Colonias de Actinomicetos: Se prepararon diluciones desde 10^{-3} hasta 10^{-7} y se utilizó para la

siembra el medio de cultivo C'Zapecks, al que se le agregó Rosa Bengala como Bactericida (Sánchez, 1990), al cabo de 7 días de incubación se efectuó el conteo, para determinar el número de colonias de actinomicetos por gramo de suelo seco.

- Estimación de Unidades Formadoras de Colonias de fijadores de nitrógeno. Se utilizaron diluciones de la muestra desde 10^{-4} hasta 10^{-7} , vertidas sobre medio ASHBY, después de 7 días de incubación se realizó el conteo total de colonias.

Las unidades formadoras de colonias se calculan de la siguiente forma:

$$\text{UFC/gramo suelo} = 10^{-4} * ((T*P*10^0 + T*P*10^1 + T*P*10^2 + T*P*10^3 + T*P*10^4 + T*P*10^5) / n)$$

Donde:

10^4 = factor común para las diluciones. Para los actinomicetos este factor es 10^3 .

T = Total de Colonias contadas en dilución 10^n

P = Promedio de Colonias contadas en la dilución.

N = Numero total de colonias contadas en todas las diluciones.

3.4.3.1.2 Identificación de comunidades microbianas

3.4.3.1.3 Se utilizaron medios selectivos y algunas pruebas bioquímicas en el caso de bacterias.

- **Bacteria vs medio** : Amel: *Rhizobium*, AZP: *Azospirillum*, KB: *Pseudomonas*, AS: *Azotobacter*.
- **Bacteria vs medio- prueba bioquímica:** Bacterias Promotoras de Crecimiento.: Trptona-ácido Indolacético. Bacterias degradadoras de urea: SSR-ureasa. (Lebuhn M. & Hartmann A. 1991)
- **Hongos vs medio- prueba** : Géneros de hongos que crecieron en el medio ESGA fueron clasificados por observación microscópica.

3.4.3.2 Biomasa microbiana-C

La estimación de biomasa microbiana se realizó por el método de fumigación extracción (Brookes *et al* 1985, Vance *et al* 1987). Para cada unidad experimental se estimó la biomasa microbiana por triplicado, a partir de los siguientes pasos:

1. Se colocó en recipientes 20 gramos de suelo por triplicado (muestras fumigadas).
2. Las muestras de suelo, se dejaron en un desecador junto con 2 recipientes: uno con 20 mL de cloroformo libre de etanol, y otro con 20 mL de agua, por espacio de 24 horas en oscuridad y a temperatura ambiente.
3. Se succionó el aire hasta percibir olor a cloroformo
4. Se colocó 20 gramos de suelo en otros 3 recipientes (muestras controles- sin fumigar)

5. Se agregó 50 ml de K_2SO_4 0,5 M a cada recipiente
6. Se agitó durante 30 minutos
7. Se dejó decantar durante 30 minutos
8. Se filtró en papel filtro (Whatman nº 42)
9. Por cada muestra se pasaron 8 mL del extracto a un erlenmeyer de 250 ml y se realizó el blanco correspondiente a 8 mL por triplicado del extractante (K_2SO_4 0,5 M)
10. Se agregaron 2 mL de KCr_2O_7 0,066 M más 10 ml de H_2SO_4 concentrado más 5 ml de H_3PO_4 concentrado
11. Se colocaron sobre una placa caliente por cinco minutos
12. Al enfriar se diluyó en 80 ml de agua
13. Se agregaron tres gotas de indicador difenilamina
14. Se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,033 N

La biomasa-C microbiana por este método se calcula así:

$$\mu g C gr^{-1} . suelo = \frac{(B - L) \times N \times 0,0033 \times V_1 \times 10^6}{P \times V_2}$$

- Donde:
- B = lectura en blanco
 - L = lectura de las muestras
 - N = normalidad del sulfato ferroso amoniacal
 - V_1 = volumen del extracto
 - V_2 = volumen titulado del extracto
 - P = peso seco de la muestra

Luego se genera la diferencia entre el carbono contenido del suelo fumigado contra el carbono del suelo no fumigado:

$$BMS = \frac{\mu gC_f - \mu gC_{nf}}{0,33}$$

Donde: μgC_f = microgramos de carbono de suelo fumigado

μgC_{nf} = microgramos de carbono de suelo no fumigado

3.4.3.3 Actividad Microbiana-CO₂

En la estimación de actividad microbiana del suelo, medida por respirometría (C-CO₂) se procedió según el método de CAB (Centro de Agrobiología del Brasil)- μg de C/ g. de suelo) descrito por Cadena y Madriñan (1998), siguiendo los siguientes pasos

1. Se pesaron 50 gramos del suelo
2. Se midieron 10 mL de NaOH 1N
3. Se colocó el suelo y el NaOH por separado en un frasco de 3 litros de capacidad
4. Se dejó en el cuarto de incubación a oscuridad y a 28°C durante 5 días
5. Luego se adicionó a los 10 ml de NaOH 2 ml de BaCl₂ al 10% más dos gotas de fenolftaleína al 1% en solución alcohólica
6. Se tituló con HCl 0,5 N

La cantidad de carbono que envolvió del suelo en forma de CO₂ está en relación con el carbonato de sodio contra el cual se titula:

$$AM = \frac{(B - T)N \times 0,006}{P} \times 10^6 = \mu\text{g C. g}^{-1} \text{ suelo seco}$$

donde: B = Lectura en blanco

T = Titulación

N = Normalidad del ácido clorhídrico

P = Peso del suelo seco.

Con los resultados de actividad (CO₂) se procedió a determinar el cociente de gasto de carbono q(CO₂), que relaciona la actividad (C-CO₂) con la biomasa-C microbiana así:

$$q(\text{CO}_2) = \frac{\text{Actividad microbiana}(\mu\text{gCg}^{-1}\text{suelo})}{\text{Biomasa microbiana}(\mu\text{gCg}^{-1}\text{suelo})}$$

3.4.3.4 Colonización de micorrizas

Se utilizó el método de despigmentación y coloración de las raíces con azul de tripano (Philips & Hayman, 1970), el cual consiste en el siguiente procedimiento: Se lavan las raíces, luego se cortan las raíces pequeñas laterales, se introducen en un tubo de ensayo y se agrega KOH al 10%, se

lleva al baño maría (90°C) de 1 a 2 minutos, se decanta. Posteriormente se cubren las raíces con HCl al 10% de 1 a 2 minutos: se procede a la tinción con azul de tripano de 1 a 2 minutos. Por último se hace el montaje de raíces en lamina y se procede a estimar el porcentaje de colonización cuantificado de la siguiente manera:

3.4.5.5 Esporas de Micorrizas

Se utilizó el método de centrifugación en solución de sacarosa al 70% (Gerdemann & Nicolson, 1963), el cual consiste en el siguiente procedimiento: Se pesa 10 g de suelo seco, se tamiza (tamiz de 500 μ , 250 μ , y 38 μ), se transfiere a un tubo de centrifuga, se agrega solución de sacarosa 72% se centrifuga 2000 rpm durante cinco minutos. Luego se aíslan las esporas retirando la interface, se lava y se recuperan espora, finalmente se realiza el c conteo.

3.4.3.6 Rendimiento – Acumulación de biomasa

Para la determinación de biomasa seca se pesó el forraje y tallos cortados en cada unidad experimental, se empacaron en bolsas de papel previamente rotuladas y perforadas, las cuales se llevaron a estufa a una temperatura de 70°C durante 48 horas hasta obtener el peso constante. Posteriormente se pesó y se determinó la acumulación de biomasa seca transformando la producción a Kg · Ha⁻¹.

3.5 Análisis de Resultados

A los resultados obtenidos, se les realizó análisis estadístico (SAS) - Análisis de Varianza, prueba de comparación de medias, componentes principales, y correlaciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de los suelos utilizados

Se presenta a continuación una breve descripción de las propiedades evaluadas al inicio y al finalizar la investigación, en los suelos utilizados en el presente estudio.

4.1.1 Propiedades químicas

Los suelos de Florida y Manuelita corresponden al orden de Inceptisol y Mollisol respectivamente. En la tabla 12 se presentan los resultados del suelo de Florida, este presenta un pH moderadamente ácido (5,5); alto contenido de materia orgánica, Ca^{++} , Mg^{++} , P, Zn^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} ; contenidos medios de K^+ , Cu^{++} , B y una CIC media de 14,52. Después de aplicar los tratamientos, el contenido de materia orgánica sigue siendo alto, los rangos que presenta son de 7,88% para T2 8,34% para T3; también se mantuvo en niveles altos el Ca^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} y también el P, este último se incrementó en todos los tratamientos presentando valores mas altos (70,6 – 76,2 ppm) en los tratamientos uno y tres que contienen KCl 100% y 50% respectivamente.

La CIC se mantuvo en un valor medio con rangos entre 14,88 y 16,36 Cmol (+) Kg^{-1} por su parte el Cu^{++} que presentó un valor medio antes de los tratamientos (2,4 ppm), se mantuvo en este nivel solo en el T1 en los otros tratamientos se incrementó, en el caso del Zn^{++} conservó un nivel alto en

los T1,T2 y T3 y pasó a un contenido medio en T4. Por su parte el pH disminuyó y pasó a ser fuertemente ácido en todos los tratamientos, contrario a lo ocurrido con el K y el B que se incrementó en todos los tratamientos.

Tabla 12 Propiedades químicas del suelo de Florida antes (A) y después(B) de aplicar los tratamientos

A	pH	M.O	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	1: 1	%	-----Cmol ⁺ Kg ⁻¹ -----				-----	-----ppm-----					
	5,5	8,10	6,89	2,63	0,21	0,18	14,52	51,00	2,40	11,00	57,21	263	0,35

B	pH	M.O	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	1: 1	%	-----Cmol ⁺ Kg ⁻¹ -----				-----	-----ppm-----					
T1	4,80	8,21	6,74	2,22	1,71	0,38	14,88	70,6	2,66	13,6	65,7	261,4	0,87
T2	5,04	7,88	7,86	2,54	2,26	0,24	16,15	62,8	3,38	11,1	47,08	232,8	0,77
T3	4,86	8,34	7,62	2,52	2,23	0,21	15,68	72,2	4,48	12,3	48,6	271,6	0,80
T4	4,80	7,90	7,32	2,50	2,09	0,28	16,36	66,6	4,80	2,54	57,14	267,0	0,94

Fuente: Laboratorio de Química de Suelos Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira
T1. 100% KCl, T2. 100% Vinaza, T3. 50% Vinaza + 50% KCl, T4. 75% vinaza + 75% KCl

En la tabla 13, se muestra las características químicas del suelo de Manuelita, el cual presenta un pH alcalino (7,6); altos contenidos de materia orgánica, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, P, Cu⁺⁺, Zn⁺⁺, Mn⁺⁺, Fe⁺⁺; contenidos medios B al igual que la CIC (11,76 Cmol (+) Kg⁻¹); el contenido de K⁺ es bajo (0,20 Cmol (+) Kg⁻¹).

Después de aplicar los tratamientos se observa que el pH disminuyó pasando a ser ácido en los T1 y T2, y neutro en los T3 y T4; el contenido de materia orgánica se mantiene alto igual que el Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y el Fe⁺⁺, la

CIC se mantiene en valores medios; para el caso del K⁺ y el B se observa un aumento lo que los ubica en niveles considerados como altos.

Tabla 13 Propiedades químicas del suelo de Manuelita antes (A) y después (B) de aplicar los tratamientos

A	pH	M.O	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	1: 1	%	----- Cmol ⁺ Kg ⁻¹ -----					-----ppm-----					
	7,64	3,84	8,74	3,54	0,20	0,17	11,76	34,90	16,00	3,36	44,13	96,75	0,31
B	pH	M.O	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	1: 1	%	----- Cmol ⁺ Kg ⁻¹ -----					-----ppm-----					
T1	6,44	4,06	11,64	3,6	1,98	0,36	13,35	73,25	14,9	4,72	44,34	146,8	,24
T2	6,06	4,29	11,02	3,82	3,03	0,36	12,30	639,08	17,4	5,42	52,14	184,3	1,31
T3	7,06	3,96	11,2	3,62	2,78	0,33	12,91	594,9	15,4	2,42	42,78	133,9	0,75
T4	7,04	3,71	10,74	3,42	2,33	0,36	12,25	535,24	15,7	2,76	46,5	160,7	1,11

Fuente: Laboratorio de Química de Suelos Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira

T1. 100% KCl, T2. 100% Vinaza, T3. 50% Vinaza + 50% KCl, T4. 75% vinaza + 75% KCl

4.1.2 Propiedades físicas de los suelos

El suelo de florida posee textura Franco Arcilloso, con una densidad aparente inicial entre 1,39 g·cm⁻³ y 1,40 g·cm⁻³ índice de estabilidad de los agregados que oscila entre 0,24 y 0,35 y el Diámetro Medio Ponderado oscila entre 0,95 y 1,08 correspondiente a un suelo ligeramente inestable. La conductividad hidráulica presentó rangos entre 13,16 cm·h⁻¹ y 29,84 cm·h⁻¹ correspondiente a una conductividad hidráulica entre rápida y muy rápida. Después de la aplicación de los tratamientos la densidad aparente disminuyó con una tendencia similar entre los tratamientos, presentando el menor valor para el T4 (1,20 g·cm⁻³).

El índice de estabilidad de agregados aumentó presentado el valor mas alto el T3 (0,72) y el menor valor para el T2 (0,59), el incremento es positivo,

ya que un suelo bien agregado en que circula el aire, se infiltra el agua que se drena por fuerza de la gravedad y avanzan las raíces es adecuado para las plantas (Primavesi 1982) El diámetro medio ponderado disminuyó en todos los tratamientos. Igual ocurrió con la conductividad hidráulica, sin embargo, esta sigue siendo moderadamente rápida, el T3 y T4 siguen estando en el rango de conductividad hidráulica muy rápida ($19,64 \text{ cm.h}^{-1}$, $19,2 \text{ cm.h}^{-1}$).

El suelo de Manuelita es de textura Franco Arcillo Arenoso, con densidad aparente inicial entre $1,22 \text{ g.cm}^{-3}$ y $1,25 \text{ g.cm}^{-3}$, el índice de estabilidad de agregados osciló en un rango de 0,41 y 0,81, el Diámetro Medio Ponderado entre 0,24 y 0,26 correspondiente a un suelo inestable, la conductividad hidráulica moderadamente lenta con un rango que va entre $0,87 \text{ cm.h}^{-1}$ y $1,69 \text{ cm.h}^{-1}$. Después de la aplicación de los tratamientos la densidad aparente aumentó, el mayor valor fue para el T2 correspondiente a 100% vinaza ($1,49 \text{ g. cm}^{-3}$).

El índice de estabilidad de agregados disminuyó presentándose el valor más bajo para el T3 (0,31) y el mayor valor para el T2-vinaza 100% (0,58), esto incide negativamente en la porosidad del suelo y consecuentemente en la falta de agua, aire y la posibilidad de penetración radicular (Primavesi 1982). En cuanto al Diámetro Medio Ponderado disminuyó presentándose el valor más bajo para el T1 (0,15) y el más alto para el T2 (0,20) manteniéndose en el rango de un suelo inestable. La conductividad hidráulica aumentó pasando

a ser moderada para T1, T2 y T3 (3.33 cm.h⁻¹, 3.49 cm.h⁻¹, 4.47 cm.h⁻¹) y para el T4 rápida (19,20 cm.h⁻¹). La textura no sufrió cambios. Estos resultados no se pueden considerar concluyentes dado el tiempo de evaluación, se requiere monitorear este comportamiento por lo menos un año y observar su evolución.

A los resultados obtenidos les realizó análisis de varianza, el cual muestra el comportamiento de la variable por muestreo y entre los diferentes muestreos en el tiempo (anexos 1a, 1b, 1c).

4.2 BIOMASA MICROBIANA-C

La biomasa microbiana del suelo, es definida por Jenkinson & Ladd(1981), Moreira & Malavolta (2004), como un componente microbiano vivo y compuesto de hongos, bacterias, microfauna y algas. Según Paul y Voroney (1989), la importancia de la determinación del carbono de biomasa microbiana es debido al papel principal que juegan los microorganismos del suelo en la retención y liberación de nutrientes y energía del sistema. Este parámetro ha sido empleado como bioindicador de los cambios que experimenta la materia orgánica; (Powlson y Jenkinson, 1981) afirman que los niveles de biomasa microbiana de un suelo se ven afectados por la cantidad y calidad de la materia orgánica del mismo. Según (Wardle, 1992) La biomasa microbiana responde con gran rapidez a las alteraciones y condiciones de stress causadas en el suelo por las actividades antropomórficas, y es por tanto un indicador ecológico muy útil.

En la presente investigación, los resultados de la prueba de comparación de medias (anexos 2a y 2c), muestran que antes de la aplicación de los tratamientos, el promedio de C de biomasa microbiana fue de 574,93 μg de $\text{C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo en el suelo de Florida y 208,69 μg de $\text{C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo en Manuelita, estos resultados probablemente estén relacionados con el contenido de materia orgánica de cada suelo (tablas 12 y 13). Por su parte, Theng y Orchard (1995), Tate (2000); concuerdan en que la relación de la materia orgánica y la biomasa microbiana se debe por un lado, a que el sustrato orgánico contiene nutrientes que son esenciales para muchos organismos del suelo, incluyendo los microorganismos, por otra parte, que la materia orgánica coloidal presenta una gran área superficial a la que se adhieren los microorganismos, existiendo una fuerte interacción entre las comunidades microbianas y la fracción orgánica de los suelos.

En la Figura 3A, se observa que con relación al muestreo inicial, (28 días después de la primera fertilización), en el suelo de Florida el contenido de C de biomasa microbiana disminuyó con la aplicación de todos los tratamientos; mientras que en el suelo de Manuelita, los tratamientos con aplicación de vinaza (T2, T3, T4) no presentaron disminución (Figura 3B), lo que refleja que en el suelo de Florida probablemente los microorganismos entraron en estado de dormancia después de fertilizar.

En términos generales es probable que el comportamiento presentado en cada uno de los suelos esté relacionado con los cambios de pH, que pudo

afectar las comunidades microbianas después de aplicar los tratamientos, que aunque disminuyó en ambos suelos, en el caso de Florida osciló entre 4,80 y 5,04 (fuertemente ácido) y en Manuelita entre 6,06 y 7,06 (ácido-neutro). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Bjorn & Rainer (2007) en un suelo ácido, que en comparación al suelo de pH neutro presentó el menor valor de C de biomasa microbiana; en el caso de las bacterias para muchas especies el pH óptimo está cercano a la neutralidad o cuando las condiciones son débilmente alcalinas; los actinomicetos no son tolerantes a valores bajos de pH; para los hongos el óptimo está en suelos con reacción ligeramente ácida o neutra; las algas no se presentan a valores por debajo de 5,0, siendo el óptimo entre 5,5 y 8,5; en el caso de los protozoarios pueden señalarse como valores extremos entre 3,5 y 9,7; sin embargo, muchas cepas se desarrollan pobremente fuera del intervalo de pH de 6,0 a 8,0.

Es posible que uno de los factores afectados por el pH de cada suelo esté relacionado con la disponibilidad de fósforo. Burbano (1989) sostiene que se ha encontrado que en ciertos casos la concentración del elemento en el suelo puede ser un factor limitante para el crecimiento microbiano.

La figura 3 muestra la evolución en el tiempo de cada tratamiento en los suelos estudiados. Se observa que a los 28 días, en el suelo de Florida con el T1 (100% KCl), el C de biomasa microbiana disminuyó significativamente ($172,27 \mu\text{g de C. g}^{-1}$ suelo) respecto a los tratamientos con aplicación de

vinaza. Por su parte en el suelo de Manuelita, este tratamiento fue el que disminuyó en mayor proporción el contenido de C de biomasa microbiana ($48,98 \mu\text{g de C. g}^{-1}$ suelo). Es probable que este resultado esté relacionado con el escaso aporte de energía para los microorganismos con respecto a los aportes de materia orgánica que brindan los tratamientos que contienen vinaza, garantizando un abastecimiento de nutrimentos para las comunidades microbianas, lo cual concuerda con Brookes *et al.*, (1990), citado por Constantini *et al.*, (1997), donde afirma que las prácticas de manejo afectan el tamaño de la biomasa microbiana, particularmente la entrada de sustratos carbonados.

A los 61 días los dos suelos presentaron tendencia similar en el tratamiento sin vinaza (T1); a los 79 días en ambos suelos se presentó un incremento estadísticamente significativo, El suelo de Manuelita superó el contenido de C de biomasa microbiana inicial ($280,25 \mu\text{g de C. g}^{-1}$ suelo). En el suelo de Florida el C de biomasa microbiana fue $300,51 \mu\text{g de C. g}^{-1}$ suelo.

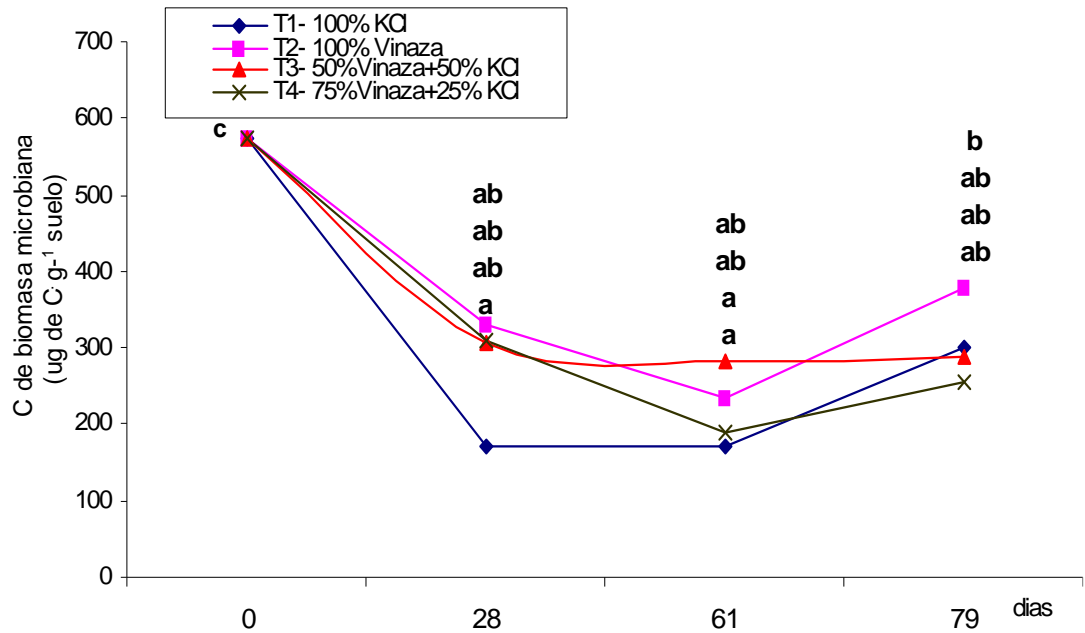
En el muestreo realizado a los 28 días el T2 (100% vinaza), presentó la menor disminución el C de biomasa microbiana, sin embargo estadísticamente no difirió de los demás tratamientos que contienen vinaza; por su parte, en el suelo de Manuelita, este tratamiento no presentó diferencias significativas con respecto al muestreo inicial. A los 61 días en ambos suelos se presentó descenso, sin embargo, este no fue significativo estadísticamente para Florida, sí para Manuelita.

A los 79 días en el suelo de Florida se presentó un significativo incremento, mientras que el suelo de Manuelita no difirió estadísticamente; sin embargo, en este último se presentó un ligero descenso. El contenido en este muestreo final fue para Florida $378,88 \mu\text{g de C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo y para Manuelita $133,05 \mu\text{g de C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo.

El C de biomasa en el T3 (50% vinaza + 50% KCl), en el suelo de Florida disminuyó a los 28 días manteniendo este mismo comportamiento hasta el muestreo final (79 días), mientras que en el suelo de Manuelita a los 28 días se incrementó significativamente, y a los 61 días inició un significativo descenso que se mantuvo hasta los 79 días del muestreo final. Los contenidos finales de C de biomasa microbiana en Florida fueron $288,20 \mu\text{g de C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo y Manuelita $116,29 \mu\text{g de C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo.

El C de biomasa microbiana en el T4 (75% vinaza + 25% KCl) en el suelo de Florida disminuyó a los 28 días, mientras que en el suelo de Manuelita presentó un ligero pero significativo incremento; a los 61 días disminuyó significativamente en ambos suelos; presentando igual comportamiento en el muestreo final, pero con incremento del C de biomasa microbiana, siendo el contenido para Florida de $225,51 \mu\text{g de C} \cdot \text{g}^{-1}$. y $134,18 \mu\text{g de C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo para Manuelita.

A. Suelo Florida



B. Suelo Manuelita

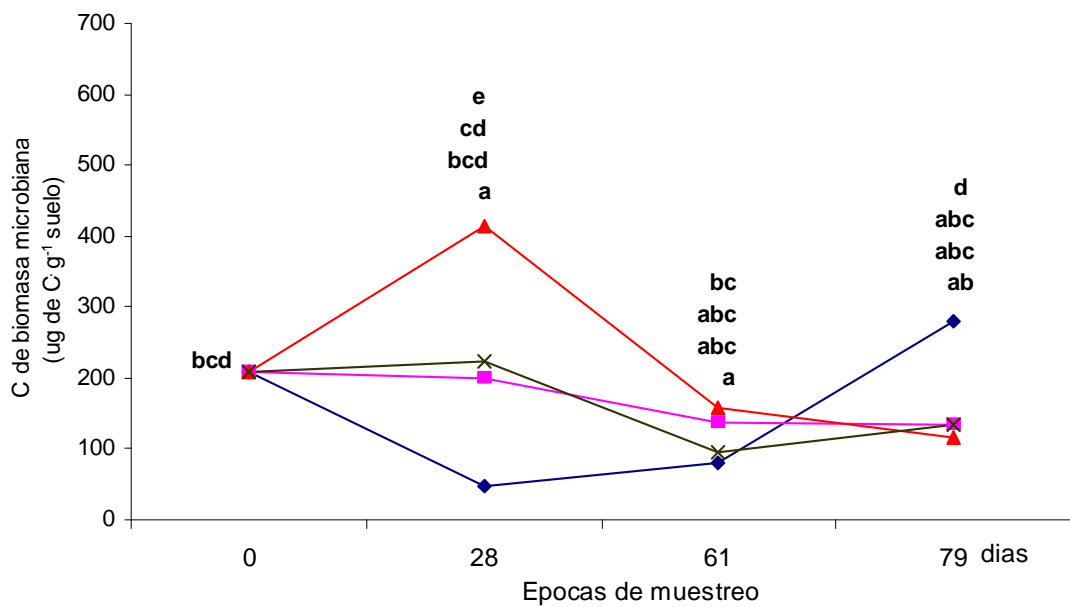


Figura 3 Biomasa microbiana-C entre épocas de muestreo en un inceptisol (A) y un Mollisol(B) del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los tratamientos con la misma letra entre épocas de muestreo no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, (P<0.05))

La figura 4 muestra el comportamiento de los tratamientos en cada muestreo, relacionado con el estado fonológico de la plantas. En términos generales se observa que en floración, en ambos suelos (Florida-figura 4A) (Manuelita-figura 4B) la tendencia fue hacia la disminución del C. de biomasa microbiana (anexos 2b y 2d); concuerda con lo reportado por Constantini (1997) en mediciones de C de biomasa microbiana realizadas en cultivo de lechuga durante distintos tiempos de muestreo. Es posible que los resultados se relacionen con la etapa del cultivo y su efecto rizosferico; al respecto Carrillo (2003), sostiene que la microbiota es modificada por la estimulación, en algunos casos inhibición, debida a los exudados radicales y los restos tisulares y que cada planta induce un efecto rizosferico característico.

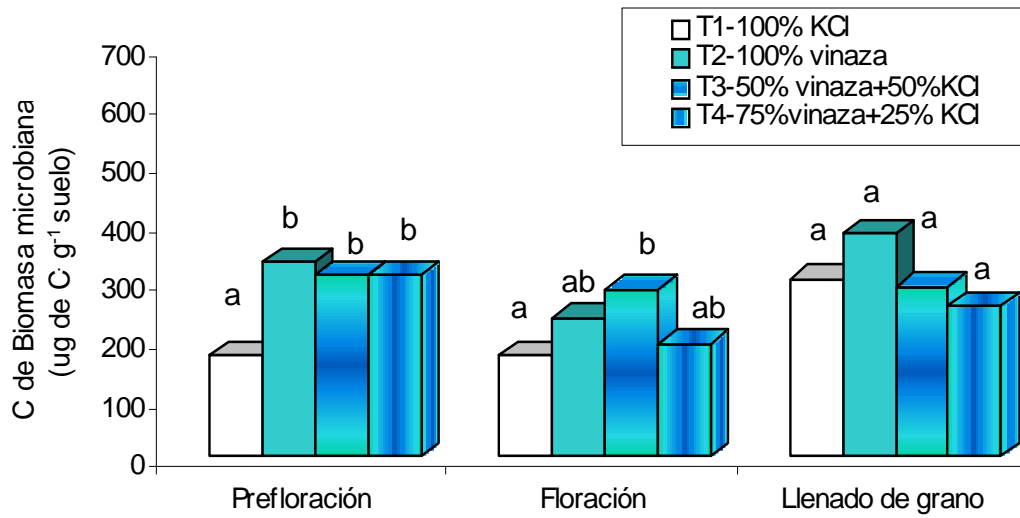
En el muestreo final correspondiente al llenado de grano, en el suelo de Florida se incrementó el C. de biomasa microbiana en todos los tratamientos siendo el valor mas alto para el T2 (378,81 μg de C \cdot g^{-1} suelo), sin embargo no hubo diferencias significativas entre sí; estos resultados coinciden con los encontrados por Bolaños (2006) en plantas de plátano donde la biomasa microbiana fue mayor en la etapa de cosecha, la misma autora referencia los resultados encontrados por Sparling 1997 y Vepsalainen *et al.*, 2004, quienes encontraron mayor biomasa microbiana en el suelo cuya vegetación tenía mayor tiempo de desarrollo; tal vez los resultados se relacionen con la edad de la planta y la desaparición del efecto rizosferico que puede haber influido en la inhibición de la presencia de

algunos microorganismos, según Carrillo (2003), cuando las raíces envejecen desaparece progresivamente este efecto dando lugar a la proliferación de microorganismos que intervienen en la descomposición de tejidos vegetales muertos.

En el suelo de Manuelita el C de biomasa microbiana, solo se incrementó significativamente en el T1 (280,25 μg de C. g^{-1} suelo), difiriendo de los tratamientos con vinaza que presentaron contenidos de 116,29 , 133,05 y 134,18 μg de C. g^{-1} suelo, correspondientes a T3, T2, y T4 respectivamente.

En términos generales, el contenido final de C de biomasa microbiana en ambos suelos presentó un comportamiento similar en el tratamiento sin contenido de vinaza (T1), con una tendencia a la recuperación del contenido de biomasa microbiana, mientras que en los suelos con aplicación de vinaza el comportamiento fue diferente en cada suelo; con una marcada diferencia en el tratamiento con 100% vinaza (T2); mientras en el suelo de Florida en el último muestreo este tratamiento reflejó la mayor recuperación del contenido de biomasa microbiana, en el suelo de Manuelita disminuyó la biomasa microbiana desde la aplicación del tratamiento hasta la etapa final del cultivo.

A. Suelo Florida



B. Suelo Manuelita

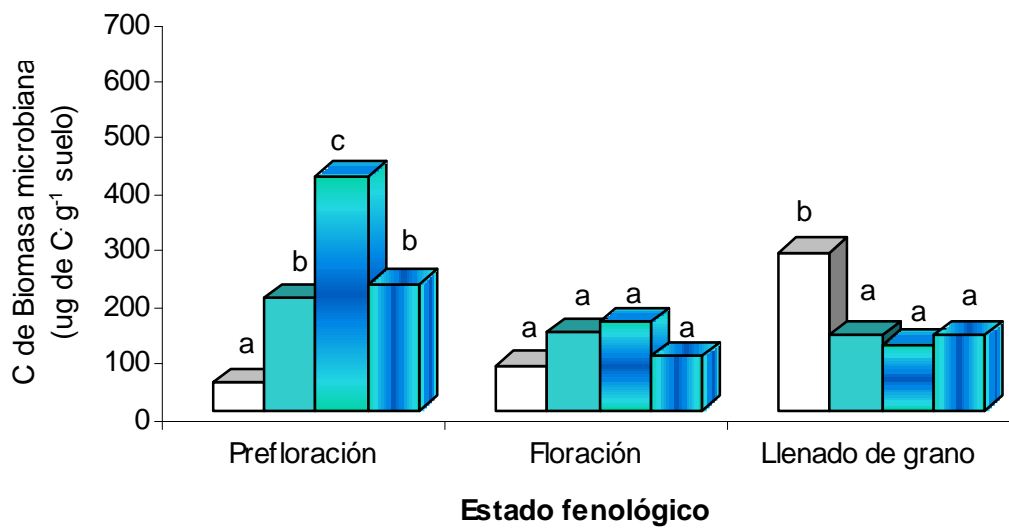


Figura 4 Biomasa microbiana-C entre tratamientos en un inceptisol (A) y un Mollisol (B) del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los estados fenológicos con la misma letra en los tratamientos no difieren significativamente entre sí. (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

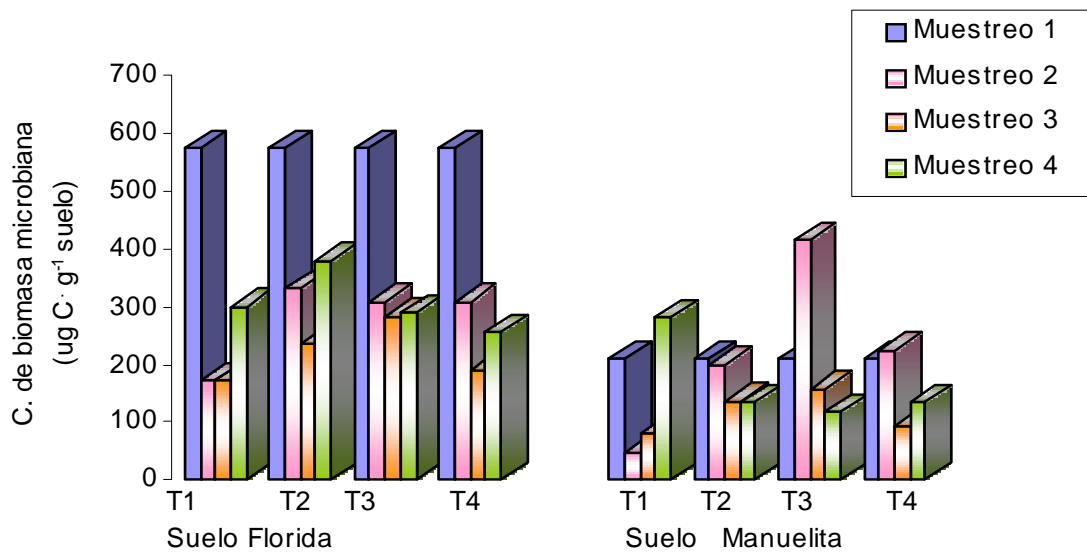


Figura 5 Biomasa microbiana-C entre tratamientos y muestreos en un inceptisol (izquierda) y un Mollisol (derecha), del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl

4.3 ACTIVIDAD MICROBIANA-CO₂

Según (Nannipieri *et al.*, 1990); citados por Hernandez & Garcia (2003), todos los microorganismos heterótrofos, tienen la propiedad de degradar la materia orgánica, obteniendo la energía que necesitan para su desarrollo a través de compuestos orgánicos tales como la celulosa, proteínas, nucleótidos y compuestos humificados. En estas reacciones de oxidación de la materia orgánica por los microorganismos (respiración microbiana), el oxígeno funciona como aceptor final de electrones obteniéndose como producto final del proceso CO₂ y agua.

La actividad microbiana medida a través de la respiración de los microorganismos es un indicador de la degradación de la materia orgánica en el suelo, y ha sido empleada con fines muy diversos como: la estimación

de biomasa microbiana del suelo que realmente es activa, el estudio de procesos de mineralización y estabilización de la materia orgánica, el establecimiento de la influencia de las condiciones climáticas y tipo de manejo en la actividad global de la biomasa del suelo, para conocer el efecto de determinadas variables sobre la oxidación de la materia orgánica y como marcador de la contaminación de suelos.

La actividad respiratoria se afecta con los cambios de temperatura ambiente y humedad. Rigobelo & Nahas (2004) en suelos de Jaboticabal-Brasil, encontraron que en épocas de lluvias intensas y altas temperaturas la actividad microbiana se incrementaba y viceversa; por lo cual en la presente investigación se hicieron pruebas de correlaciones entre actividad respiratoria, humedad y temperatura, para cada muestreo y tratamiento; los resultados obtenidos indican que no existió ninguna correlación, esto tal vez se debe a que las fluctuaciones de la temperatura ambiente fueron mínimas y mantuvieron valores estadísticamente similares (24°C, 22°C, 23°C 25°C correspondientes al primero, segundo, tercero y cuarto muestreo) y a que el riego fue controlado de tal modo que la humedad tampoco presentó variaciones significativas; la idea era mantener estas condiciones controladas, para evaluar la respuesta por influencia de los tratamientos aplicados (anexo 9).

En el suelo de Florida el promedio de CO_2 por respiración microbiana inicialmente estuvo en un valor de $117,34 \mu\text{g de C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{dia}^{-1}$,

mientras que en el suelo de Manuelita el promedio inicial de CO₂ fue 103,20 µg de CO₂. g⁻¹ suelo · día⁻¹ (anexos 3a y 3c), esta diferencia puede estar relacionada con el mayor contenido de materia orgánica y biomasa microbiana metabólicamente activa del suelo del suelo de Florida, ya que los microorganismos del suelo utilizan los compuestos orgánicos del mismo para obtener energía y nutrientes para su crecimiento y desarrollo.

En el suelo de Florida, los contenidos mas bajos de CO₂ se presentaron en el T3 y T4 durante el cuarto muestreo realizado a los 79 días (70,45 – 71,73µg de C-CO₂. g⁻¹ suelo · día⁻¹) y los contenidos mas altos en los suelos con T1 y T2 en el muestreo realizado a los 61 días (123,91-126,70 µg de C-CO₂. g⁻¹ suelo día⁻¹).

En el suelo de Manuelita, los contenidos mas bajos de CO₂ se presentaron en el T1 y T3 a los 61 días, en el tercer muestreo (32,42–58,12 47,10 µg de C-CO₂ ·g⁻¹ suelo · día⁻¹) y a los 28 y 79 días los contenidos mas altos (178,30 - 188,5 µg de C-CO₂. g⁻¹ suelo· día⁻¹), correspondientes a los tratamientos 2 y 4 respectivamente.

La figura 6 presenta la evolución de cada uno de los tratamientos durante el tiempo de estudio (figura 6A Florida), (figura 6B Manuelita), mostrando que en el suelo de Florida después de la primera fertilización, la respiración microbiana disminuyó ligeramente en todos los tratamientos, contrario a lo ocurrido en el suelo de Manuelita; lo cual probablemente esté relacionado

con el pH de cada suelo y los cambios ocurridos después de aplicar los tratamientos; respuesta similar reportó Tenorio *et al* (2000), quien encontró que en suelos con pH de 4,84 y 5,00, el encalado, activó la mineralización de la materia orgánica. Al respecto Labrador (1996), afirma que un pH excesivamente bajo relentiza la actividad biológica y en consecuencia disminuye el ritmo de transformación y mineralización de la materia orgánica; y que un pH entre 6 y 7.2 permite una adecuada evolución de la misma ya que la mayor parte de las bacterias se desarrollan mejor a pH neutros o ligeramente alcalinos, mientras que los hongos que son mas adaptables presentan un buen desarrollo dentro de los límites de pH mas amplios. Tenorio *et al.*, (2000); compararon el efecto de dos enmiendas (torta de caña de azúcar y vinaza) en dos tipos de suelo y al aumentar las dosis de ambas enmiendas, no se potenció la actividad biológica en el suelo que tenía mayor acidez.

Al igual que la biomasa microbiana, la marcada diferencia en el comportamiento de la respiración de los microorganismos en cada uno de los suelos estudiados, podría relacionarse con el pH de los mismos, y la disponibilidad del fósforo, como lo reporta Burbano (1987), quien afirma que el nivel del fósforo disponible en los suelos restringe la utilización del carbono del suelo por los microorganismos. El autor cita resultados de suelos que recibieron aplicaciones simultaneas de glucosa y fosfato, donde la producción de CO₂ después de la aplicación de glucosa aumentó significativamente en los tratamientos que recibieron fósforo en comparación

con aquellos que no lo recibieron, sugiriendo que el nivel de fósforo disponible en los suelos estudiados restringe el carbono agregado en formas altamente disponibles.

Respecto a la evolución de cada tratamiento a través del tiempo. En la figura 7, se observa que la aplicación del T1 (100% KCl) en el suelo de Florida presentó menor actividad respiratoria en estado de prefloración, y la más alta en estado de floración, mientras que en el suelo de Manuelita la respuesta fue a la inversa, como también fue diferente la respuesta de los suelos a los 79 días, que disminuyó en el suelo de Florida y se incrementó en el suelo de Manuelita.

Los resultados reflejan que la respiración microbiana fue alta aunque en diferentes estados fenológicos de la planta en cada suelo, infiriendo que aparentemente la aplicación de este tratamiento suministró los nutrientes necesarios para estimular la actividad metabólica de los microorganismos. En este caso en que la aplicación del tratamiento no aportó materia orgánica; el desprendimiento de CO₂ microbiano podría ser atribuido al uso de los nutrientes de la fertilización mineral y no a la mineralización de la materia orgánica lo cual podría tener relación con el ligero incremento aunque no significativo de la materia orgánica en los suelos con aplicación de este tratamiento (tablas 12 y 13)

El T2 (100% vinaza) en el suelo de Florida disminuyó significativamente la actividad respiratoria a los 28 días en comparación a los tratamientos que contienen KCl, mientras que en el suelo de Manuelita se incrementó en mayor proporción que los demás tratamientos.

Tal vez en el suelo de Florida exista una relación entre el alto contenido de materia orgánica disponible y la aplicación de vinaza en dosificación de 100%, por ser un residuo de fácil descomposición; concordando con lo encontrado por Acuña *et al* (2006), quienes afirman que en el sustrato orgánico lábil o fácilmente mineralizable de los ecosistemas estudiados correspondientes a suelos con tendencia ácida, al aumentar la cantidad de materia orgánica en los suelos, la mineralización de la misma disminuye.

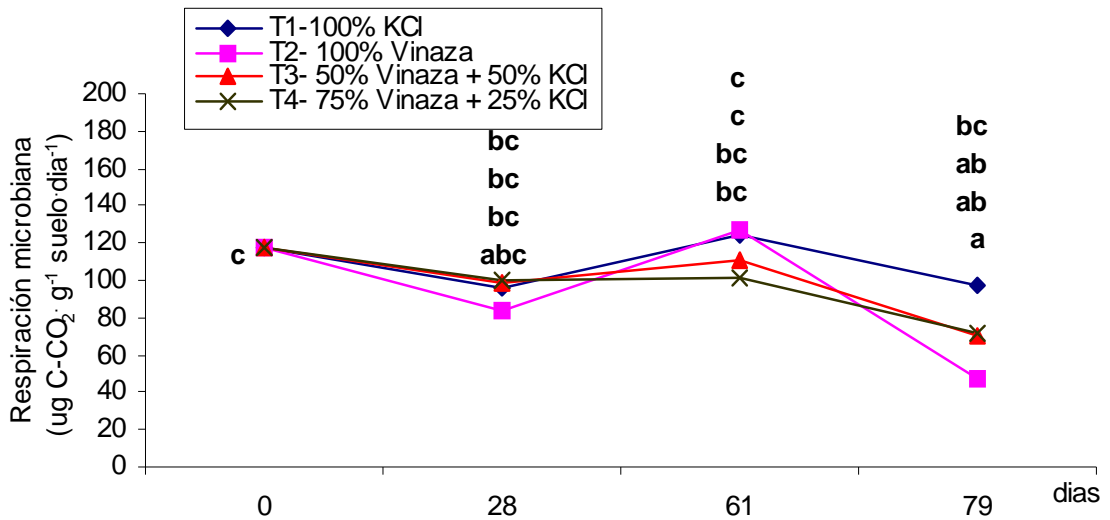
La respuesta del suelo de Florida a la aplicación de este tratamiento también puede estar relacionada con sustancias de la vinaza que pudieran inhibir la actividad de algunos microorganismos, al respecto Burbano (1987) citó resultados obtenidos en la producción de CO₂ en dos suelos en los que la mineralización del carbono no fue afectada por la aplicación de tratamientos con algas en diferentes dosis, al respecto el autor argumenta que probablemente sustancias orgánicas presentes en el alga que no se encuentran normalmente en el suelo, hayan sido metabolizadas con un menor desprendimiento de CO₂, o que tal vez el alga haya activado una flora zimogena que produce menor cantidad de CO₂ en comparación a la flora nativa que, por su menor agresividad, fue parcialmente inhibida.

Para el suelo de Manuelita la respuesta en la aplicación de este tratamiento fue altamente significativa en comparación a los demás, reflejando una respuesta de la actividad microbiana a la aplicación de una fuente de carbono, concordando con lo encontrado por Constantini (1997), Silva (2005). En el muestreo realizado a los 61 días El comportamiento en los suelos con aplicación del T2, mantuvo comportamiento diferente con aumento en el suelo de Florida y disminución en el suelo de Manuelita. A los 79 días. La tendencia en ambos suelos fue a disminuir el desprendimiento de CO₂.

Los tratamientos T3 y T4 correspondientes a las mezclas de vinaza y KCl presentaron similar comportamiento en cada muestreo para los suelos estudiados, sin embargo fue inversa la respuesta entre los dos suelos. Mientras que en el suelo de Florida la mayor respiración microbiana fue a los 61 días en estado de floración, en el suelo de Manuelita fue a los 79 días en estado de llenado de grano.

En términos generales, los resultados indican que la respiración microbiana respondió a aplicación de los fertilizantes, en menos tiempo en el suelo de Manuelita que Florida. En ambos suelos después de un ciclo de alta actividad respiratoria, en el muestreo siguiente se presentaba un descenso, concordante con lo hallado por Silva (2005), afirmando que esto puede deberse a una estabilización de las poblaciones después de un ciclo intenso por efecto de la aplicación de los fertilizantes.

A. Suelo Florida



B. Suelo Manuelita

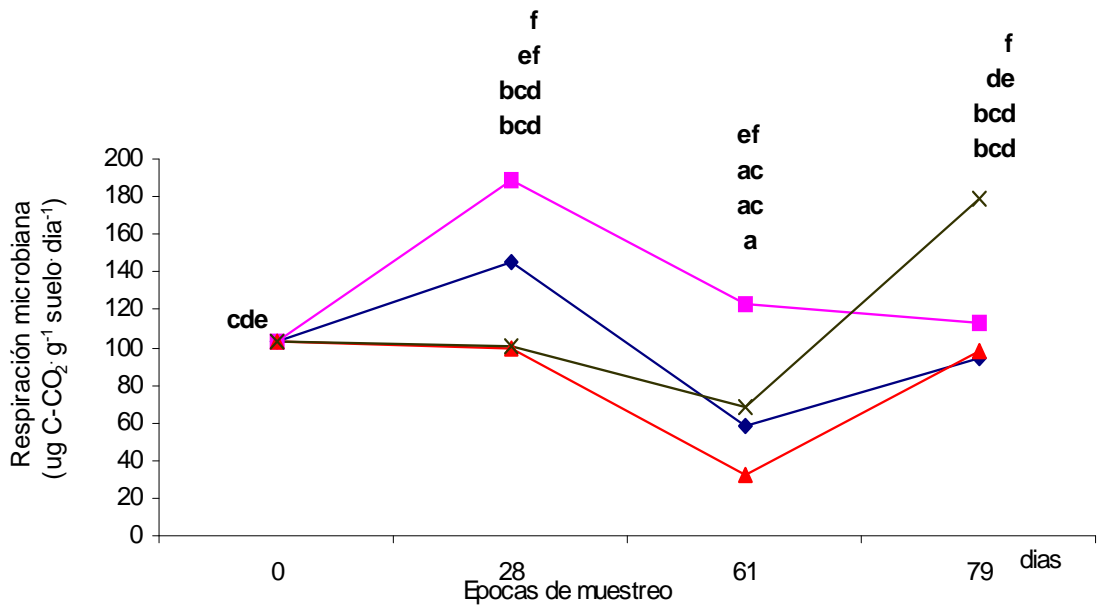


Figura 6 Actividad microbiana- CO_2 entre épocas de muestreo en un Inceptisol (A) y un Mollisol (B) del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los tratamientos con la misma letra entre épocas de muestreo no difieren significativamente entre sí (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

La figura 7 presenta el comportamiento de los tratamientos en cada muestreo. En el segundo muestreo realizado en estado de prefloración, la respiración microbiana en el suelo de Florida (figura 7 A) osciló entre 83,41 y 100,12 μg de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{día}^{-1}$ correspondiente a los suelos con T2 y T4 respectivamente, sin embargo las diferencias entre ninguno de los tratamientos es significativa estadísticamente (anexo 3b).

Por su parte en el suelo de Manuelita (Figura 7B) el contenido de CO_2 osciló entre 98,97 y 188,5 μg de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{día}^{-1}$. La mayor actividad respiratoria se presentó en el suelo con T2 (100% vinaza) seguida del T1 (100% KCl), las mezclas de vinaza y KCl (T3, T4) no difirieron entre sí.

En el tercer muestreo realizado en el estado de floración, el suelo de Florida presentó su mayor actividad respiratoria con incremento de la misma en todos los tratamientos, y aunque en los T1 y T2 los valores fueron mas altos estos no difirieron estadísticamente de los demás. Contrario, en el suelo de Manuelita el comportamiento de los tratamientos reflejo menor respiración microbiana en este muestreo siendo el T2 el de mayor valor y con diferencias significativas en comparación a los tratamientos con KCl, los cuales a su vez no difirieron entre sí.

En el cuarto muestreo realizado en estado de llenado de grano el suelo de Florida con aplicación del T2 (100% vinaza) presentó la menor respiración microbiana (47,10 μg de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{día}^{-1}$) y el mayor valor (96,71 μg

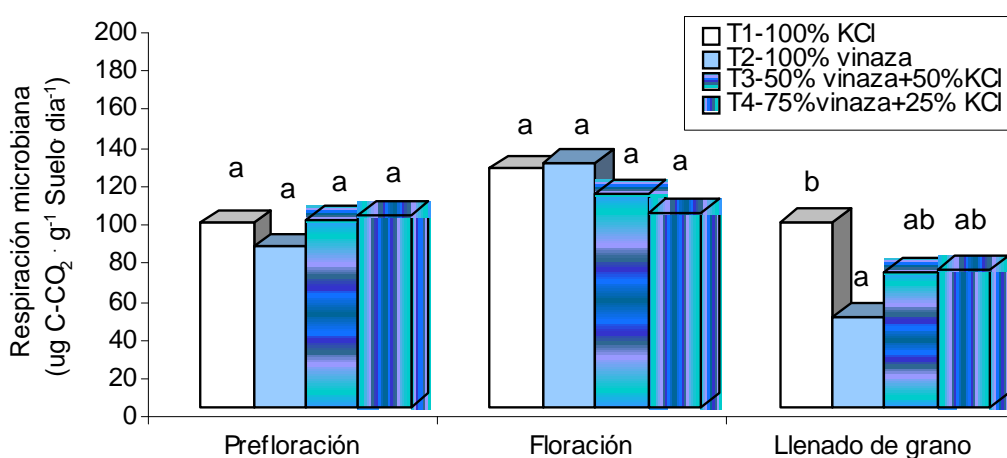
de $C-CO_2 \text{ g}^{-1} \text{ suelo} \cdot \text{día}^{-1}$) fue para el tratamiento con 100% KCl; estos dos tratamientos presentaron diferencias altamente significativas entre si, por su parte T3 y T4 no mostraron diferencias entre si. La tendencia en este muestreo fue hacia una estabilización de la respiración microbiana; resultados que concuerdan con los obtenidos por Silva (2005), en cultivo de avena forrajera donde desde la semana 8 y siguientes, los valores de CO_2 se estabilizaron tal vez porque las poblaciones microbianas en este momento tienden al equilibrio inicial, antes de la aplicación de los fertilizantes.

En términos generales, después de la primera fertilización correspondiente al segundo muestreo (figura 8), los microorganismos al disminuir su actividad respiratoria en el suelo de Florida, habrían entrado en un estado de dormancia probablemente evitando una toxicidad (López & Silvieira 2004), por su parte en el suelo de Manuelita los tratamientos con mezclas de vinaza y KCl (T3 y T4) presentaron un ligero descenso, mientras que los tratamientos T1 y T2 se incrementaron significativamente la respiración microbiana del suelo.

En el tercer muestreo las fluctuaciones fueron bastante marcadas en ambos suelos; por un lado en el suelo de Florida se presentó la mayor actividad respiratoria en todos los tratamientos, mientras que en el suelo de Manuelita fue la menor en comparación a los demás muestreos. En el cuarto muestreo el suelo de Florida presentó disminución de la actividad respiratoria en todos los tratamientos; mientras que en el suelo de Manuelita

a excepción del tratamiento con 100% vinaza, los tratamientos con KCl mostraron una tendencia al aumento de la misma. Sin embargo en términos generales se presentó una tendencia a la estabilidad en ambos suelos.

A. Suelo Florida



B. Suelo Manuelita

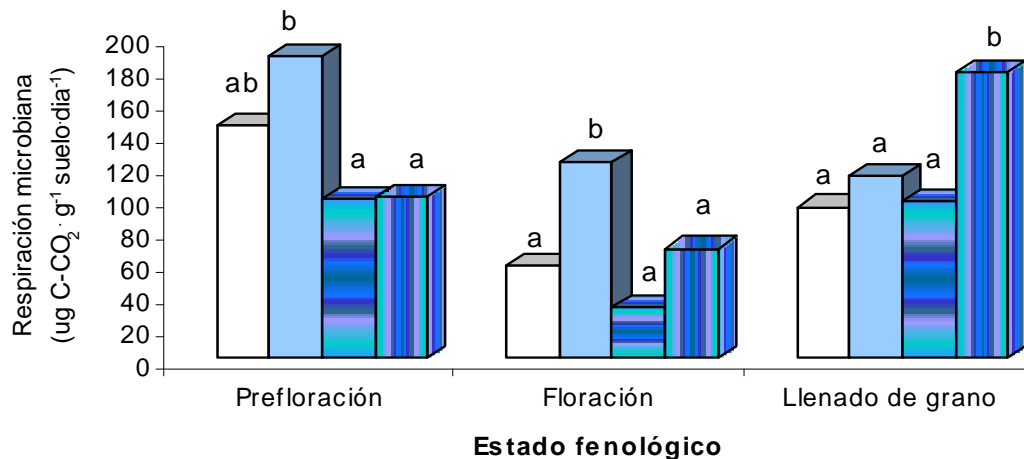


Figura 7 Actividad microbiana- CO_2 entre tratamientos en un Inceptisol(A) y un Mollisol (B) del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los estados fenológicos con la misma letra entre tratamientos no difieren significativamente entre si. (prueba de Duncan, ($P < 0.05$))

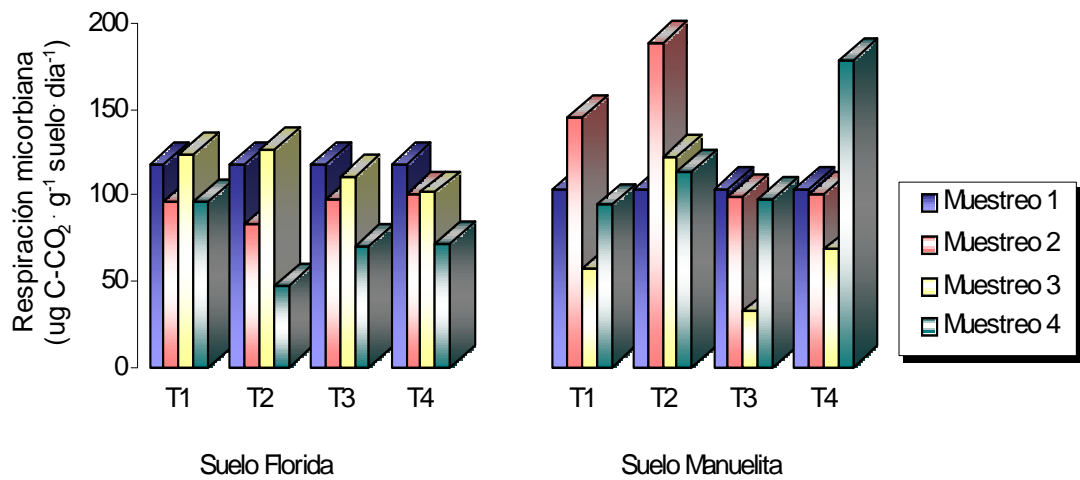


Figura 8 Actividad microbiana-CO₂ entre tratamientos y muestreos en un inceptisol (izquierda) y un Mollisol (derecha), del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl.

4.4 COCIENTE METABÓLICO (qCO_2)

El cociente metabólico (qCO_2), derivado de la teoría ecológica de Odum (1985) y basado en la hipótesis de la optimización energética de los ecosistemas, relaciona la respiración (CO₂) y la cantidad de C-biomasa microbiana por unidad de tiempo, donde en los ecosistemas jóvenes (inmaduros) el valor de qCO_2 debe ser elevado y es bajo al referirse a ecosistemas maduros, es decir la relación entre la respiración total y la biomasa total de un ecosistema debe disminuir progresivamente a medida que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o estabilidad (Doran *et al.*, 1994), salvo que las condiciones sean adversas para el buen funcionamiento del mismo.

En el suelo de Florida antes de aplicar los tratamientos, el cociente metabólico (qCO_2) fue de 0.38 µg de C-CO₂ · día⁻¹ · g⁻¹ C de biomasa microbiana (anexo 4a); y en el suelo de Manuelita 0.62 µg de C-CO₂ · día⁻¹ ·

g^{-1} C de biomasa microbiana (anexo 4c) Estos valores muestran que inicialmente hay mayor estabilidad en el suelo de Florida; lo que puede atribuirse al contenido de materia orgánica del suelo, coincidiendo con Moreira & Malavolta (2004); Zagal & Cordoba (2004), Bjorn & Rainer (2007); quienes comparando suelos con diferentes contenidos de materia orgánica encontraron menor $q\text{CO}_2$ en los suelos con mayores contenidos de la misma.

Chander & Brookes (1991) citados por Zagal & Córdoba (2004) reportaron lo ocurrido en sistemas de uso intensivo del suelo con cultivos anuales; donde la disponibilidad de material orgánico fue limitada durante 8 años, hubo una respuesta similar con valores de $q\text{CO}_2$ que reflejaron mayor actividad respiratoria por unidad de biomasa.

En el suelo de Florida el $q\text{CO}_2$ mas bajo se presentó con aplicación del T2 ($0,25 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana) a los 28 días y el más alto a los 61 días con aplicación del T1 ($0,73 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana; mientras que en Manuelita el $q\text{CO}_2$ mas bajo se presentó con aplicación del T3 ($0,25 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana) y el mas alto en el mismo muestreo con aplicación del T1 ($3,05 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana).

En La figura 9, se presenta la evolución del $q\text{CO}_2$ durante las épocas de muestreo en cada tratamiento aplicado a los suelos estudiados. Sin la

aplicación de vinaza (T1), el suelo de Florida incrementó el qCO_2 ligeramente hasta los 61 días, en el cuarto muestreo realizado a los 79 días descendió quedando al final en $0,42 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ de biomasa microbiana, mientras el suelo de Manuelita con aplicación de este tratamiento, incrementó el qCO_2 hasta los 28 días y a partir de los 61 días comenzó a descender hasta los 79 días, el contenido final fue $0,34 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ de biomasa microbiana. De acuerdo a estos valores el qCO_2 parece ser que existe una tendencia a la estabilización en la eficiencia metabólica microbiana de ambos suelos.

La aplicación de la vinaza en dosis del 100% (T2), en el suelo de Florida disminuyó el qCO_2 a los 28 días, se incrementó ligeramente a los 61 días, y descendió a los 79 días, presentando un qCO_2 final de $0,14 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ de biomasa microbiana.

En el suelo de Manuelita el mismo tratamiento incrementó el qCO_2 desde los 28 días hasta el cuarto muestreo realizado a los 79 días. Los resultados muestran diferente respuesta a la aplicación de vinaza en cada suelo, tendiendo a un equilibrio en el suelo de Florida e inestabilidad en el suelo de Manuelita. Un factor que puede haber influido en el comportamiento del suelo de Manuelita con aplicación del T2 fue el incremento en la densidad aparente con aplicación de este tratamiento (anexo 1b), lo que reduce la aireación del suelo, y según (Kilbertus, (1980); Foster, (1988) citados por Santruckova *et al* (1992) puede limitar el crecimiento y el metabolismo de la

biota por una reducción de habitats colonizables, además restringir el intercambio de gases y agua (Hyusman *et al.*, 1989; Kaiser *et al.*, 1991).

Los resultados obtenidos en el suelo de Manuelita, son concordantes con Santruckova *et al* (1992), quienes encontraron altos valores de qCO_2 en suelos con aplicación de tratamientos causantes de compactación reflejados en incremento de la densidad aparente. En esta investigación, se concluyó que la destrucción de capas compactadas y gradual recompactación de las mismas aunque no es la única, si sería la principal causa de la pérdida de biomasa microbiana acompañada de un incremento en la actividad de los microorganismos.

En el suelo de Florida con aplicación de los T3 y T4 (anexo 4a), la evolución del qCO_2 presentó el mismo comportamiento que el T2 durante los muestreos; mientras que en el suelo de Manuelita con aplicación del T3 y T4 se disminuyó el qCO_2 a los 28 días, y se incrementó hasta los 61 días. A los 79 días el T3 continuó incrementándose y en el T4 el qCO_2 , presentó una tendencia a decrecer (anexo 4c).

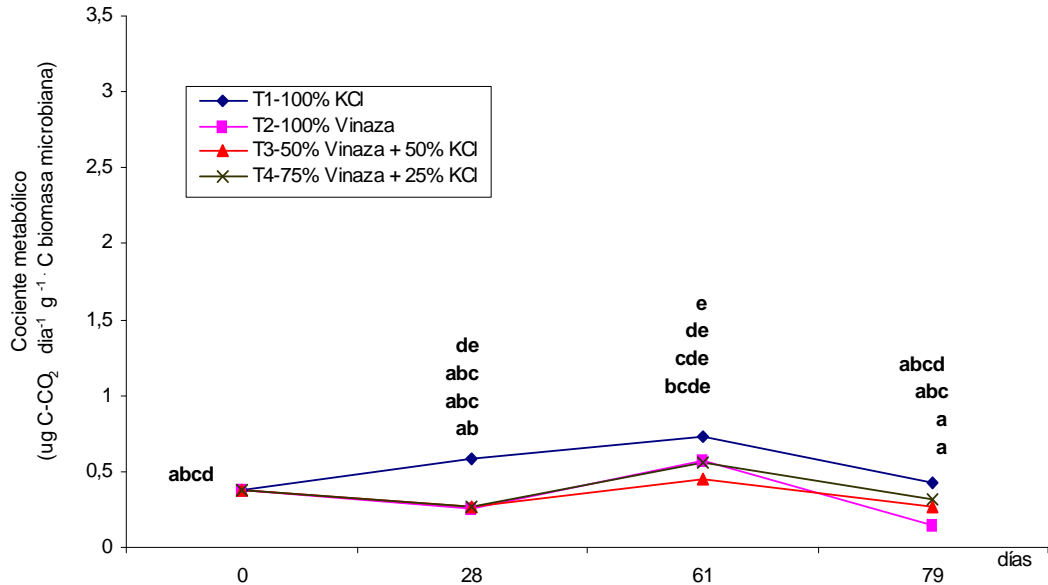
En términos generales la eficiencia metabólica de cada suelo presentó un comportamiento diferente por efecto de la aplicación de los tratamientos; mientras que en el suelo de Florida los tratamientos con mayor contenido de vinaza fue disminuyendo el qCO_2 , con el tiempo; en el suelo de Manuelita se incrementó, principalmente en los de mayor contenido de vinaza (T2 y T4)

presentando valores mayores a 1 en el muestreo final, lo que indica menor eficiencia en la utilización del carbono, resultado de una mayor liberación de CO₂ por unidad de sustrato (Insam *et al.*, 1996, citado por Andrade & Silveira 2004).

La figura 10 presenta el comportamiento de los tratamientos en cada época de muestreo teniendo en cuenta el estado fenológico de las plantas. En prefloración en el suelo de Florida el qCO_2 osciló entre 0,25 y 0,57. μg de C-CO₂ · día⁻¹ · g⁻¹ C de biomasa microbiana. El qCO_2 mas alto se presentó con aplicación del T1, seguido de T4 y los mas bajos en T3 y T2 respectivamente anexo 4b).

El suelo con T1 Incrementó el qCO_2 , resultante de mayor cantidad de CO₂ liberado por unidad de biomasa microbiana, lo que indica que la fertilización de síntesis sin aporte de materia orgánica creó una condición adversa en el equilibrio edáfico; en casos como este según Ohya *et al.*, (1888), Chew *et al.*, (2001), Andrade & Silveira (2004), cuando una comunidad microbiana metabólicamente activa es reducida entra en un estado de dormancia que puede tener un significado de supervivencia que ayudaría a los microorganismos a evitar una toxicidad.

A Suelo Florida



B Suelo Manuelita

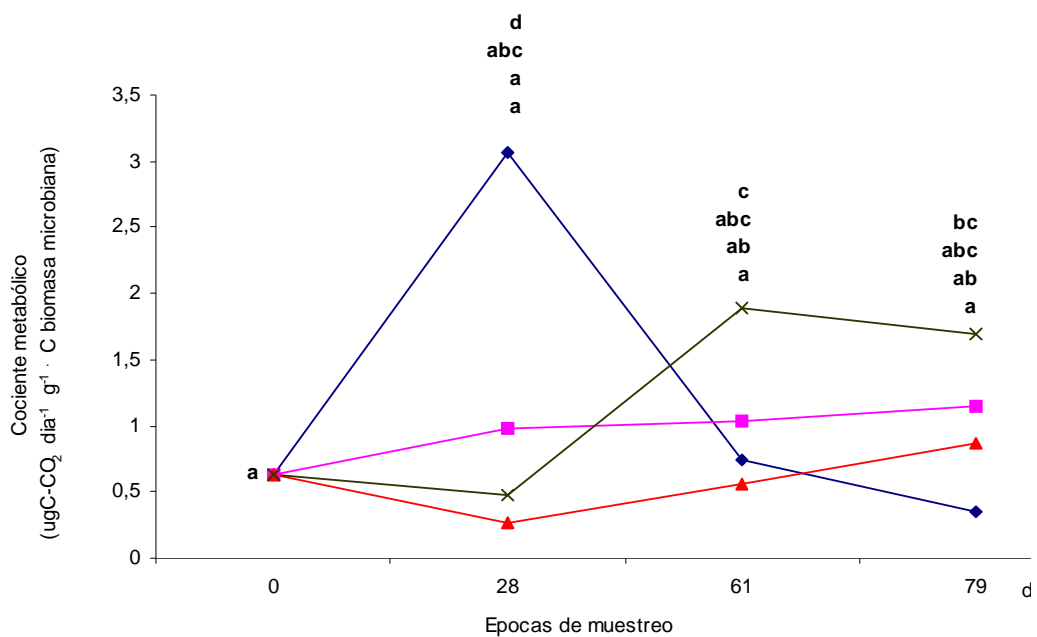


Figura 9 Cociente metabólico (qCO_2) entre épocas de muestreo en un Inceptisol(A) y un Mollisol (B) del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los tratamientos entre épocas de muestreo con la misma letra entre tratamientos no difieren significativamente entre si. (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Los tratamientos con aplicación de vinaza disminuyeron el qCO_2 (T2, T3, T4) reflejando mayor eficiencia en la utilización del carbono en este suelo.

En prefloración en el suelo de Manuelita el qCO_2 osciló entre 0,25 y 3,09 μg de C- $CO_2 \cdot día^{-1} \cdot g^{-1}$ C de biomasa microbiana (anexo 4d). El qCO_2 más alto se presentó con aplicación del T1, seguido de T2 y los más bajos con los T4 y T3 respectivamente.

La aplicación del T1 (3,05 μg de C- $CO_2 \cdot día^{-1} \cdot g^{-1}$ C de biomasa microbiana) refleja mayor cantidad de CO_2 liberado por unidad de biomasa microbiana. La aplicación del T2 también incrementó significativamente el qCO_2 pero a un menor costo energético, debido a que la biomasa microbiana permaneció constante.

Respecto a los tratamientos con mezcla de vinaza y KCl (T3, T4) las comunidades microbianas presentaron eficiencia metabólica basada en un incremento de biomasa microbiana sin aumentar su actividad respiratoria.

En floración, el suelo de Florida presentó incremento del qCO_2 en todos los tratamientos y de acuerdo a la teoría ecológica de Odum (1985) un desbalance energético para las comunidades microbianas (Anderson & Domch, 1993, Chander & Joersgensen, 2001, López & Silveira 2004), este incremento en el costo energético con aplicación de los T1 y T2 obedece a

una biomasa constante y un incremento en la liberación de CO₂, en el T3 la biomasa y la actividad respiratoria se mantuvieron constantes y en T4 obedeció a una disminución en la biomasa y un incremento en la actividad respiratoria, lo anterior se traduce en una menor eficiencia en la utilización del carbono por las poblaciones microbianas.

Los resultados obtenidos probablemente pueden estar relacionados con la maduración del cultivo donde puede haberse presentado una competencia por nutrientes; al respecto Burbano (1989) afirma que las plantas vasculares y los microorganismos son competidores por los factores de crecimientos del suelo. Otra razón para el incremento de qCO_2 puede deberse a los exudados de la raíz en esta etapa del cultivo que tal vez no hayan sido favorables para la eficiencia metabólica microbiana.

En el suelo de Manuelita en etapa del cultivo el qCO_2 osciló entre 0,56 y 1,88 $\mu\text{g de C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ C de biomasa microbiana}$. El qCO_2 mas alto se presentó con aplicación del T4, seguido del T2 y los mas bajos en T3 y T1 respectivamente. Aunque el T1 no incrementó la biomasa microbiana del suelo, la actividad respiratoria si disminuyó significativamente, incidiendo en una mayor eficiencia en la utilización del carbono por parte de las comunidades microbianas presentes.

La aplicación del T2 en este suelo, incrementó ligeramente el qCO_2 (1,04 $\mu\text{g de C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ C de biomasa microbiana}$), resultante de una

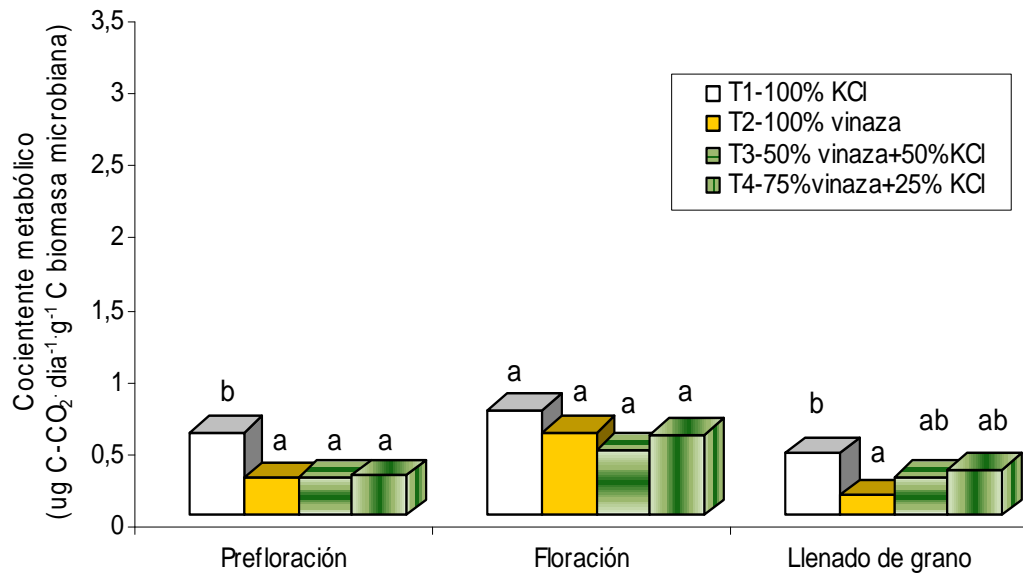
disminución en la biomasa microbiana y de su actividad respiratoria, lo que refleja una respuesta de supervivencia de las comunidades bacterianas evitando una toxicidad, esto mismo ocurrió con los T3 y T4; en este último tratamiento aunque aparentemente no difiere de los demás su incremento fue muy marcado llegando a $1,88 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ de biomasa microbiana), este valor por encima de 1 indica un desbalance sufrido por una comunidad microbiana por causa de disturbios ambientales. (Anderson & Domch, 1993, Chander & Joersgensen, 2001, López & Silveira 2004).

En llenado de grano el $q\text{CO}_2$ descendió en el suelo de Florida con aplicación de todos los tratamientos; el menor valor se presentó con la aplicación de T2 ($0,14 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ de biomasa microbiana) y el valor más alto T1($0,42 \mu\text{g} \mu\text{g}$ de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ de biomasa microbiana), este descenso es el resultado de una disminución de la actividad respiratoria con relación a la biomasa microbiana en T1, T2 y T4, en el caso de T3 fue el resultado de una biomasa microbiana constante con reducida actividad respiratoria. Sin embargo, esta disminución del $q\text{CO}_2$ muestra que después de la culminación del cultivo se mostró una tendencia al equilibrio, donde las comunidades microbianas han iniciado nuevamente su reproducción a un menor costo energético probablemente por no tener a la planta como competencia y esta vez con un contenido de materia orgánica adicional aportado residuos de la planta después de la cosecha.

En el suelo de Manuelita con aplicación del T1 se presentó la mayor eficiencia metabólica, resultante de aumentó en la actividad respiratoria y biomasa microbiana. La aplicación del T2 incrementó ligeramente el $q\text{CO}_2$, llegando a un valor de $1,14 \mu\text{g}$ de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana, este resultado surgió del descenso en la actividad respiratoria microbiana sin aumento en su reproducción, lo que refleja estrés microbiano que conduce a estado de dormancia como mecanismo de supervivencia evitando toxicidad.

El suelo de Manuelita con T3 aunque con un menor valor que el T2 ($0,56 \mu\text{g}$ de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana) también incrementó el $q\text{CO}_2$ aumentando la actividad respiratoria pero no la biomasa microbiana, es decir que el carbono liberado en CO_2 superó el que los microorganismos utilizan para su mantenimiento y reproducción, esta misma situación se presentó en el T4 pero con un $q\text{CO}_2$ mas alto que los demás tratamientos ($1,68 \mu\text{g}$ de $\text{C-CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ C de biomasa microbiana). Aparentemente al finalizar el cultivo los tratamientos con mayores contenidos de vinaza influyeron en una menor eficiencia metabólica sobre todo el T2 (100% vinaza).

A Suelo Florida



B. Suelo Manuelita

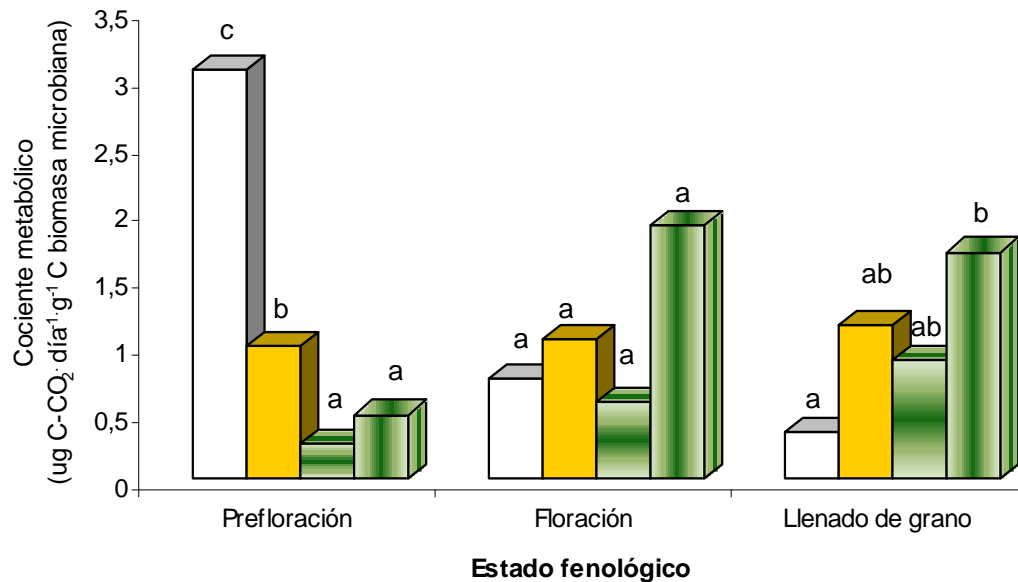


Figura 10 Cociente metabólico (qCO_2) entre tratamientos en un Inceptisol(A) y un Mollisol (B) del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los estados fenológicos con la misma letra entre tratamientos no difieren significativamente entre si. (prueba de Duncan, ($P < 0.05$))

Los resultados de los suelos estudiados reflejan que aparentemente las condiciones ambientales en el suelo Florida son mas favorables para la eficiencia metabólica de las comunidades microbianas (figura 11), lo que puede estar relacionado con el uso, manejo y propiedades de cada suelo. En el suelo de Manuelita Se observa que hasta el segundo muestreo (después de la primera fertilización) los tratamientos con la mezcla vinaza-KCl presentaron eficiencia metabólica, aparentemente fue en la segunda fertilización (tercer muestreo) donde se generó un ambiente adverso para las comunidades microbianas, mientras que el tratamiento con vinaza dosificada en 100%, desde su primera aplicación mostró un efecto negativo

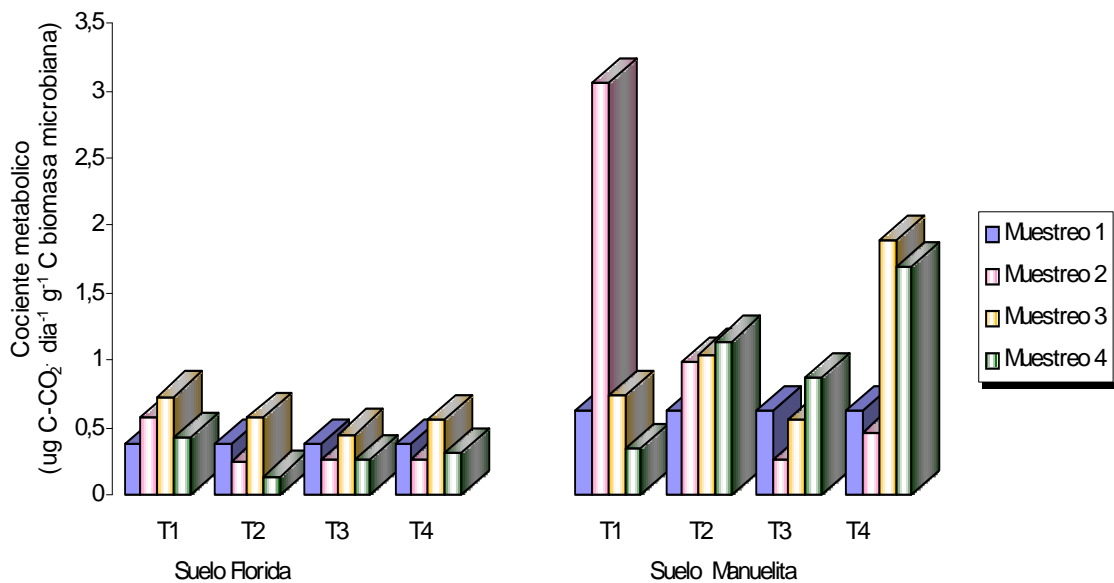


Figura 11 Cociente metabólico entre tratamientos y épocas de muestreo de un inceptisol (izquierda) y un mollisol (derecha), del Valle del Cauca sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl

en la eficiencia metabólica de lo cual se podría sugerir una influencia de la vinaza en el equilibrio del suelo, entre ellas el incremento en la densidad aparente y la disminución de la porosidad, afectando quizá el intercambio de gases y agua en el suelo y limitando el metabolismo microbiano.

4.5 COMUNIDADES MICROBIANAS DEL SUELO

La estimación de la biomasa microbiana y su actividad puede ser empleada como un indicador en las variaciones sufridas en el equilibrio de un suelo debido a la presencia de agentes nocivos o su manejo productivo (Doran *et al.*, 1994), es de gran utilidad explorar la dinámica de los diversos grupos microbianos que conforman esta biomasa, la cual según Burbano (1989) tiene gran variedad de bacterias, actinomicetos, algas, hongos y protozoarios los cuales realizan la mayor parte de reacciones bioquímicas involucradas en la descomposición de la materia orgánica y la intemperización de las rocas. A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuantificación y diversidad microbiana antes y después de aplicar los tratamientos en los suelos estudiados.

4.5.1 Comunidades bacterianas

La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos de donde obtienen su fuente energética y alimenticia. Mediante su metabolismo liberan al medio sustancias como enzimas, proteínas reguladoras de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relaciona con el incremento

en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña *et al.*, 2006).

El número de bacterias tiene estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo como la textura, estructura, porosidad aireación y retención de humedad, su actividad se con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en suelos con poca compactación y sin excesos de agua (Acuña *et al.*, 2006). Cuando hay abundancia de agua en el suelo, la proliferación de estos organismos cesa, no en razón de que el exceso resulte perjudicial por si, sino mas bien porque tienden a limitar el intercambio gaseoso, y por tanto, a disminuir el suministro de O₂ aprovechable (Burbano, 1989).

Factores como la materia orgánica y el pH tienen considerable influencia sobre el numero y la actividad bacteriana, puesto que la gran mayoría de bacterias son heterótrofas y el pH optimo para muchas especies está cercano a la neutralidad o cuando las condiciones son débilmente alcalinas (Burbano, 1989). Las bacterias son los organismos mas abundantes en el suelo; el número de bacterias en un gramo de suelo va desde un millón o menos a varios miles de millones. En la técnica que se utilizó (dilución de placa) para que el número calculado pueda considerarse equivalente al presente en el suelo, debe cumplir las siguientes premisas: 1) que cada colonia desarrollada sobre la placa proceda de una y solo de una bacteria; 2) que todas las bacterias de la muestra de suelo se encuentren en

suspensión; 3) que todas las bacterias de la suspensión puedan crecer en medios de cultivo, de hecho ninguna de estas condiciones se da íntegramente y en atención a las condiciones que se dan en la práctica, se considera que este método lleva a subestimar el número de bacterias edáficas, (Burbano 1989) por lo que los resultados presentes obedecen a estimaciones mas no mediciones.

Los resultados mostraron que el suelo de Florida presentó inicialmente 1.74×10^8 u.f.c g^{-1} suelo, mientras que el suelo de Manuelita presentó un contenido inicial de 2.6×10^7 u.f.c g^{-1} suelo (Tablas 14 y 15). Es probable que la cantidad de bacterias presentes en el suelo de Florida en comparación al suelo de Manuelita, esté relacionado con el contenido de materia orgánica en cada suelo; pues se estima que la mayoría de especies bacterianas son heterótrofas (Paul & Clarck ,1989). El resultado se relaciona con el total de biomasa microbiana-C, que fue mayor en el suelo de Florida. La aplicación de los tratamientos en el suelo de Florida, causó un descenso de las UFC bacterianas a los 61 días, este comportamiento podría estar relacionado con la disminución del pH que pasó de ser moderadamente ácido a fuertemente ácido; según Burbano (1989) las condiciones altamente ácidas o alcalinas tienden a inhibir ciertas bacterias comunes en el suelo; el autor sostiene que para el desarrollo bacteriano el pH optimo es cercano a la neutralidad; esta podría ser una de las causas para que en el suelo de Manuelita con valores de pH entre neutros y cercanos a la neutralidad

después de aplicar los tratamientos no hubiese cambiado significativamente su contenido de UFC bacterianas.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos en el suelo de Manuelita (figura 12), donde las UFC bacterianas fueron significativamente mayores con vinaza en dosificación del 100% y 75% (T2 y T4); y aunque en el suelo de Florida el efecto de los tratamientos no reflejó diferencias significativas entre los mismos, los T2 y T4 fueron los de mayor cantidad de UFC, por lo que podría sugerirse que la vinaza influye positivamente en la reproducción de las comunidades bacterianas, tal vez por su aporte de materia orgánica dominada por fracciones lábiles con enlaces poco resistentes a la acción microbiana (Loteró 2006)

Tabla 14 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias en un inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración-61 días
	1.74x 10 ⁸ a	
1. 100% kCl		1.06 x 10 ⁷ b
2. 100% vinaza		6.47x 10 ⁷ b
3. 50% KCl + 50% vinaza		2.98x 10 ⁶ b
4. 25%KCl+75% vinaza		4.07 x 10 ⁷ b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

Tabla 15 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración – 61 días
	2.61 x 10 ⁷ a	
1. 100% kCl		2.49 x 10 ⁶ a
2. 100% vinaza		2.75 x 10 ⁷ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		2.26 x 10 ⁷ a
4. 25%KCl+75% vinaza		6.27 x 10 ⁷ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

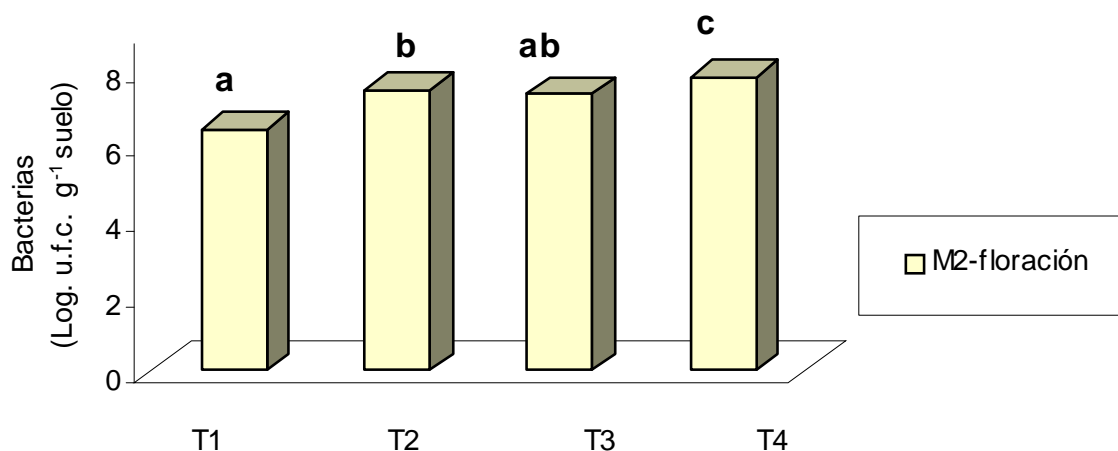


Figura 12 Bacterias en un mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. (Valores de los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente entre sí (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

A través de la liberación de ácido indolacético (AIA), se estimó la presencia de bacterias promotoras de crecimiento (Lebuhn & Hartmann 1994); estas bacterias inducen la germinación de la semilla para luego colonizar la raíz. Algunos ejemplos son: *Azotobacter beijerinckia*, *Azospirillum brasiliense*, *A. lipoferum*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, *Burkholderia* spp, *Azospirillum* spp, *Azotobacter* spp en gramíneas como maíz y trigo.

Está demostrado que las bacterias promotoras de crecimiento al colonizar las raíces de las plantas, empujan las sustancias de desecho que se liberan durante el crecimiento del sistema radical, para transformarlos en sustancias promotoras del crecimiento vegetal o fitohormonas (Sánchez, 2005).

La liberación de AIA se presentó previo a la aplicación de los tratamientos, y en el suelo de Florida con T1 (100% KCl) y T3 (50% vinaza + 50% KCl);

mientras que en el suelo de Manuelita ninguno de los tratamientos promovieron esta reacción.

Los resultados obtenidos en cuanto a la presencia en el suelo de Florida y ausencia en el suelo de Manuelita; probablemente tengan alguna relación con el pH de los suelos estudiados y la afinidad entre las proteínas que actúan como receptoras de auxinas y el AIA.

En callos desarrollados a partir de médula de tabaco se encontró que existían proteínas que actuaban como receptores, perfectamente distinguibles por su capacidad de ligamiento y su localización. Dos de estas proteínas estaban ligadas a membranas y localizadas en el plasmalema, una de ellas presenta a pH 4 elevada afinidad con el ácido naftilftalámico (NPA), un potente inhibidor sintético del transporte de AIA: ligaría el AIA en la zona del plasmalema que limita con el citoplasma y lo transportaría a través de la membrana al apoplasto. La otra proteína tiene una afinidad mayor por el AIA 10^{-7} M a pH 5 y no liga NPA. (LUCAS C., E. 1997).

Los resultados entre tratamientos en el suelo de Florida, muestran que donde hubo mayor aplicación de vinaza (T2 y T4) no hubo liberación de AIA; lo que posiblemente esté relacionado con azúcares o aminoácidos de la misma; al respecto se ha detectado que en ocasiones el AIA se inactiva al conjugarse con este tipo de moléculas LUCAS C., E. (1997).

De otra parte se estimó la presencia de bacterias solubilizadoras de urea a partir de la liberación de ureasas. Los resultados obtenidos en los suelos estudiados mostraron que en el suelo de Florida no se activaron estas bacterias, mientras que en el suelo de Manuelita sí, y por efecto de los T3 (50% vinaza+ 50% KCl) y T4 (75% vinaza + 25% KCl) .

Según Burbano (1989), aunque se han registrado numerosos ensayos sobre la actividad de la ureasa en los suelos, la amplia divergencia en los métodos adoptados para estos complica el análisis de la información relacionada con la actividad de la ureasa en los mismos.

Se presenta en la figura 13, la evolución de las comunidades bacterianas entre tratamientos y muestreos de los suelos citados. Se observa que en ambos suelos con aplicación de T2 y T4 se presentó la mayor presencia de comunidades bacterianas.

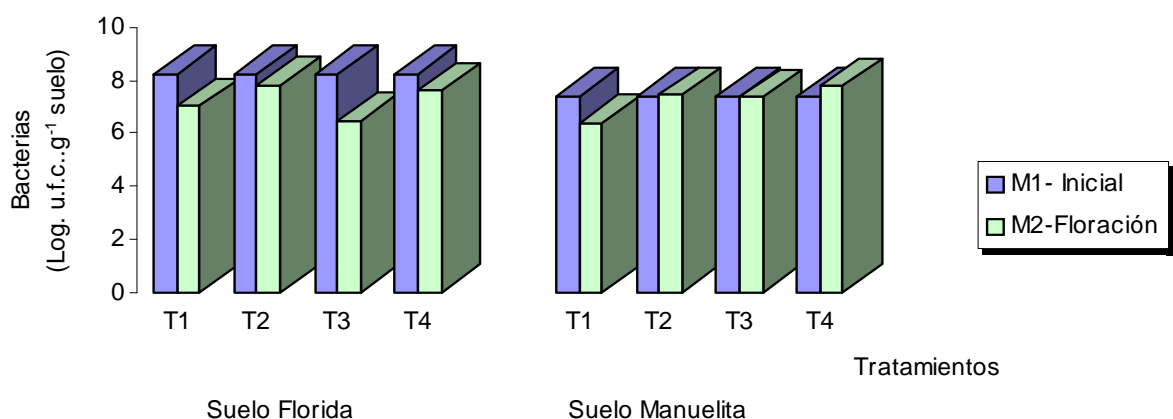


Figura 13 Bacterias en un inceptisol (izquierda) y un Mollisol (derecha) sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

4.5.2 Bacterias fijadoras de nitrógeno

La fijación biológica del N₂ en la naturaleza es una propiedad que exhiben sólo unos pocos géneros de organismos procarióticos que contienen la información genética para sintetizar la enzima nitrogenasa (Burbano 1989). Según (Mayea *et al.*, 1998), mediante la acción de este complejo enzimático convierten el N₂ atmosférico en formas asimilables para las plantas. Estos autores, afirman que ciertas bacterias y algunas especies de algas verdeazules (Cianobacterias) que se desarrollan independientemente tienen la habilidad de fijar el N₂ atmosférico en sus células dando como producto final de la fijación proteínas. Estos sistemas, ya sean de vida libre, como en simbiosis con formas superiores de vida incorporan aproximadamente 170 millones de toneladas de nitrógeno anualmente al ecosistema (González y Lluch, 1992). La capacidad de fijación de N₂ por estas bacterias varía considerablemente en dependencia de la composición del medio, su acidez, temperatura y aireación, de la presencia de N combinado, de la naturaleza las fuentes de carbono, microelementos y de la acción de organismos antagónicos en el medio (Martínez-Viera, 1986; Mayea *et al.*, 1998)

Los resultados obtenidos muestran que el suelo de Florida presentó en el muestreo previo a la aplicación de los tratamientos un promedio de 3.0×10^6 u.f.c · g⁻¹ suelo (tabla 16), mientras que en el suelo de Manuelita el contenido fue 1.3×10^6 u.f.c · g⁻¹ suelo (tabla 17); la diferencia puede tener relación con el contenido de materia orgánica en cada suelo; puesto que los

microorganismos fijadores de nitrógeno requieren de fuentes adecuadas de carbono fácilmente accesible, Primavesi (1982).

Tabla 16 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno en un inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración-61 días
	3.09 x 10 ⁶ a	
1. 100% kCl		1.07 x 10 ⁶ b
2. 100% vinaza		2.46 x 10 ⁵ b
3. 50% KCl + 50% vinaza		7.84 x 10 ⁵ b
4. 25%KCl+75% vinaza		1.31 x 10 ⁵ b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

Tabla 17 Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración – 61 días
	1.32 x 10 ⁶ a	
1. 100% kCl		1.03 x 10 ⁶ a
2. 100% vinaza		3.75 x 10 ⁵ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		4.35 x 10 ⁵ a
4. 25%KCl+75% vinaza		3.14 x 10 ⁵ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

A los 61 en el suelo de Florida la presencia de estas bacterias disminuyó significativamente, lo cual puede estar asociado a la disminución del pH; según (Martínez-Viera, 1986; Mayea *et al.*, 1998) el pH óptimo de crecimiento de las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, es de 6 y a niveles inferiores disminuyen las cantidades de N₂ fijado y hasta puede inhibirse su actividad metabólica.

En el suelo de Manuelita el cambio a los 61 días no fue estadísticamente significativo, sin embargo se observó un ligero descenso; lo que refleja que aunque el pH de este suelo cercano a la neutralidad favorece la fijación, existieron otros factores que no permitieron crear condiciones para la fijación eficiente del N_2 ; al respecto Primavesi (1982), Dhar (1961, 1968, 1972) afirman que los fijadores aparecen especialmente en compañía de bacterias capaces de descomponer celulosa, ya que utilizan los productos intermediarios de esta descomposición. Los productos de la descomposición varían con el tipo de organismos presentes y con las características del medio; en condiciones aeróbicas la celulosa evoluciona a glucosa, la cual se puede incorporar a células en crecimiento y a dióxido de carbono. De este modo tal vez en este suelo haya influido una probable disminución de oxígeno originada por el descenso en la estabilidad de los agregados, el diámetro medio ponderado y la densidad aparente (anexo 1b).

Al comparar el comportamiento entre los tratamientos en época de floración, los resultados mostraron que la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en el suelo de Florida difirió significativamente entre los mismos, la prueba de comparación de medias muestra que el valor más alto fue para el T1 que no contiene vinaza, seguido del T3, que tiene 50% de vinaza; los tratamientos con mayores contenidos de vinaza (T2 y T4) presentaron los menores valores y no presentaron diferencias significativas entre sí (figura 14), en el suelo de Manuelita no se presentaron diferencias significativas, sin embargo se observó en los tratamientos con mayor contenido de vinaza,

menor cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno; los resultados coinciden con lo reportado por Lotero (2006) quien al comparar tratamientos con aplicación de fertilizante de síntesis y diferentes dosis de vinaza observó mayor presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en el suelo con aplicación del abono de síntesis. En la investigación *in vitro* realizada por Neves *et al.*, (1983), también se observó que la aplicación de vinaza inhibió pasajeramente la población de bacterias fijadoras de N; el autor atribuye esta reacción a la introducción de nitrógeno asimilable presente en la vinaza. Otra razón para la inhibición puede estar relacionada con el alto contenido de K de la vinaza; según Martínez-Viera (1986), cuando existen altas concentraciones de este elemento en el suelo se inhibe el desarrollo de las bacterias fijadoras, dependiendo del grado de toxicidad de la fracción aniónica de sal.

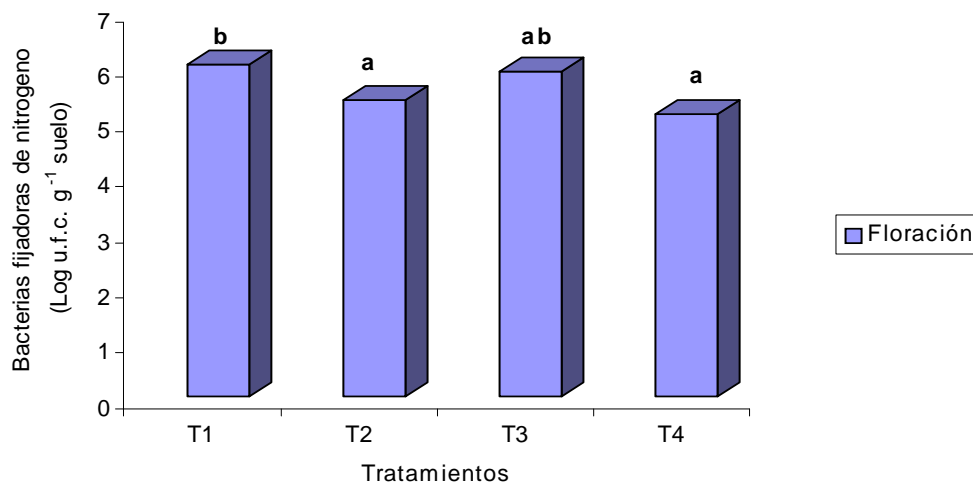


Figura 14 Bacterias fijadoras de nitrógeno en un Inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente entre sí (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

En los suelos estudiados previo a la aplicación de los tratamientos y posterior a la aplicación de los mismos (estado de floración) se observó el crecimiento de algunos géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno a partir de medios de cultivo selectivos para *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Rhizobium*.

La presencia del genero *Azospirillum*, puede estar asociado a los exudados del cultivo de maíz. Según Burbano (1989), quien encontró que *Azospirillum lipoferum* presenta un aumento de movilidad de 116% con respecto a la movilidad al azar con el exudado de maíz, 112% con el trigo y 16% con sorgo. Para *Azospirillum Brasiliensis*, 47% con maiz, 39% con trigo y 21% con sorgo. La mayor y menor capacidad de atracción correspondió a los exudados del maíz y de sorgo, respectivamente.

El género *Pseudomonas* que pertenece al grupo de bacterias más numerosas en el suelo (Burbano 1989). según Frederisckon y Elliott (1985) y Bolton *et al.* (1993) *Pseudomonas* es muy competitiva en el ambiente rizosferico debido a su versatilidad metabólica, son de vital importancia en procesos de antagonismo microbiano y en la regulación de la composición de la comunidad edáfica, debido a su capacidad para sintetizar y liberar metabolitos capaces de inhibir el crecimiento de otros microorganismos, como por ejemplo sideroforos (Marschnery y Crowley, 1997) y antibióticos (Kropp *et al.*, 1996).

Otro género presente fue *Azotobacter* correspondiente al grupo de bacterias aerobias estrictas fijadoras de nitrógeno en forma asimbiótica; por su parte, el género *Rhizobium* relacionado con fijación de nitrógeno en simbiosis con leguminosas también presentó crecimiento en el medio de cultivo, lo que podría estar asociado a la población “nativa” del suelo.

4.5.3 Comunidades de Actinomicetos

Los actinomicetos pertenecen a un grupo de bacterias con micelio (Alexander, 1989, Labrador, 1997) y se estima que juegan un papel muy importante en la formación de humus, fundamentalmente por su capacidad para degradar una variedad de sustancias comparativamente resistentes. Como grupo estos microorganismos no son tolerantes a valores bajos de pH por lo que el tamaño de sus poblaciones está relacionado inversamente con la concentración de hidrogeniones. La población de actinomicetos tiende a ser abundante en suelos cuyo pH fluctúe entre 6,5 y 8 (Burbano 1989); también alcanzan poblaciones muy altas en suelos bien aireados con alto contenido de materia orgánica (Delgado, 2005).

Los actinomicetos atrajeron la atención mundial después de descubrirse que producían diferentes antibióticos (Burbano 1989), de los 6.000 o más antimicrobianos conocidos, alrededor del 67% son producidos por actinomicetos, (Sánchez & Prager 2001), algunos actinomicetos producen antibióticos que regulan patógenos de las plantas que están en el suelo (Delgado 2005).

En el análisis de los suelos estudiados, previo a la aplicación de los tratamientos el suelo de Florida presentó en promedio un contenido de 3.4×10^4 u.f.c. g^{-1} suelo de actinomicetos y el suelo de Manuelita 8.0×10^4 u.f.c. g^{-1} suelo de actinomicetos (tablas 18 y 19), es probable que el mayor contenido de actinomicetos presentes en el suelo de Manuelita, esté relacionado con el pH del mismo y la abundancia de estos microorganismos en suelos con valores de pH entre 6,5 y 8.

Después de aplicar los tratamientos no se presentaron diferencias significativas respecto al muestreo inicial en ninguno de los suelos estudiados, lo que indica que aparentemente los tratamientos no desequilibraron el ambiente edáfico propicio para estos microorganismos; según Burbano (1989) su número no tiende a cambiar en ecosistemas estables.

Tabla 18 Prueba de comparación de promedios de UFC de actinomicetos en un inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración-61 días
	3.40×10^4 a	
1. 100% kCl		4.86×10^4 a
2. 100% vinaza		1.41×10^4 a
3. 50% KCl + 50% vinaza		9.91×10^3 a
4. 25%KCl+75% vinaza		3.31×10^4 a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Tabla 19 Prueba de comparación de promedios de UFC de actinomicetos en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

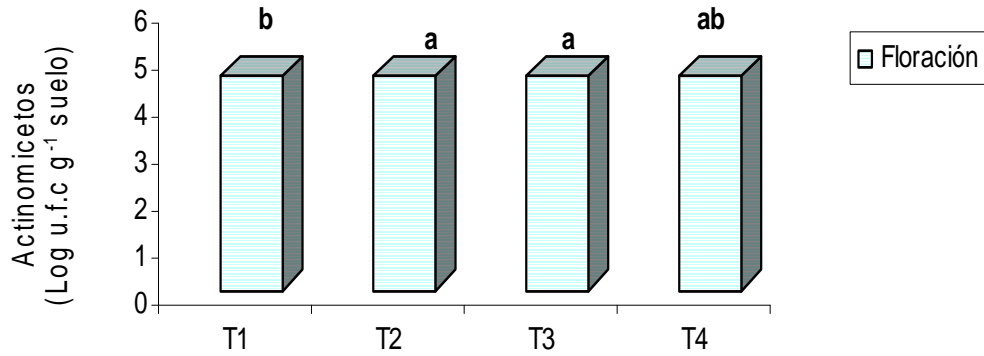
TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración – 61 días
	8.04 x 10 ⁴ a	
1. 100% kCl		2.17 x 10 ⁴ a
2. 100% vinaza		1.40 x 10 ⁵ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		1.23 x 10 ⁵ a
4. 25%KCl+75% vinaza		4.41 x 10 ⁴ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

En el suelo de Manuelita hubo diferencias significativas entre los tratamientos; siendo el valor mas alto para el T2 (100% vinaza), seguido del T3, estos tratamientos no difirieron entre sí. Los menores valores fueron para T4 y T1 respectivamente. Contrario al suelo de florida, los resultados reflejan que aparentemente hubo respuesta positiva a las aplicaciones vinaza. Tal vez en este tipo de suelo los géneros de actinomicetos presentes respondan a materiales orgánicos con las características de la vinaza, al respecto Burbano (1989) sostiene que los diferentes géneros de actinomicetos ocupan una variedad de nichos y probablemente juegan diferentes papeles en el proceso de descomposición que realizan.

En la figura 15 se observa las diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de actinomicetos entre tratamientos. En el suelo de Florida el mayor contenido de U.F.C. de actinomicetos se presentó con aplicación del tratamiento sin vinaza (T1), concordante con lo encontrado por Lotero (2006) en un suelo de pH 5,8 quien encontró que las comunidades de actinomicetos disminuyeron después de aplicar vinaza.

A. Suelo Florida



B. suelo Manuelita

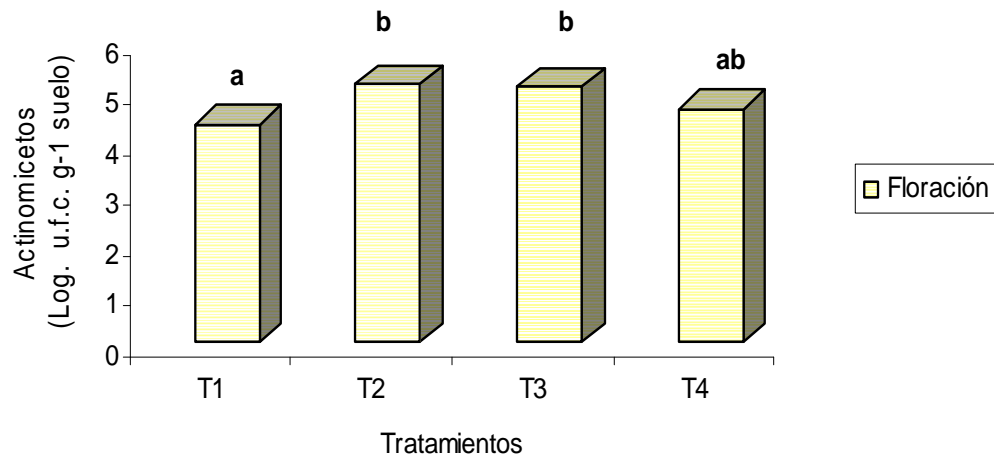


Figura 15 Actinomycetos entre tratamientos en un Inceptisol (A) y un Mollisol (B) del Valle del Cauca sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los estados fenológicos con la misma letra entre tratamientos no difieren significativamente entre si. (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

4.5.4 Comunidades de Hongos

Los hongos conforman una importante fracción de la biomasa microbiana total del suelo, son heterótrofos y aerobios: En muchos suelos cultivados bien aireados constituyen gran parte del protoplasma microbiano total;

cuando el suelo se satura la difusión del O₂ requerido para el metabolismo aeróbico no es la adecuada y los hongos están entre los primeros que sufren las consecuencias; su pH óptimo está en suelos con reacción ligeramente ácida a neutra Burbano (1989).

Aunque el número de sustratos que pueden colonizar es enorme, en general son potentes agentes lignolíticos, celulolíticos y peptinolíticos, también degradan la quitina y la queratina y muchos exudan o liberan productos variados como sustancias hidrosolubles, antibióticos y pigmentos oscuros de gran importancia en el proceso de humificación (Labrador 1996). Como consecuencia de su habilidad para utilizar sustancias proteicas, los hongos participan activamente en la formación de amonio y compuestos nitrogenados simples, facilitan el suministro de determinados nutrientes—mediante la micorrización y por acción mecánica, participan en la mejora de la estabilidad estructural de los agregados del suelo (Alexander, 1980; Labrador, 1996). Los diversos géneros de hongos presentes, como el tamaño de la flora varían con el tipo de suelo y sus características físicas y químicas (Burbano 1989). Los géneros de hongos presentes en el suelo de Florida y en el suelo de Manuelita se observan en la tabla 22 y 23.

El contenido de hongos en el muestreo inicial presentó un promedio de 5.8×10^5 u.f.c. g⁻¹ suelo de hongos en el suelo de Florida, y 5.05×10^6 u.f.c. g⁻¹ suelo de hongos en el suelo de Manuelita, es posible que este comportamiento esté relacionado con el pH de los suelo estudiados,

puesto que el óptimo para estos microorganismos está en el rango de ligeramente ácido a neutro (Tablas 20 y 21)

Después de aplicar los tratamientos, en el suelo de Florida no se presentaron diferencias significativas en la cantidad de hongos, respecto al muestreo inicial, mientras que en el suelo de Manuelita disminuyó significativamente. Teniendo en cuenta que estos microorganismos son aerobios estrictos, y que la deficiencia de aireación es la principal causa de la ausencia de hongos en suelos no drenados (Fokkema & Schippers, 1986; Mahaffe & Kloper, 1997; Sánchez, Márquez, Fernández, (2007), tal vez en el suelo de Manuelita estas comunidades microbianas se hayan afectado por una disminución en la aireación del suelo debido a los cambios físicos presentados en el mismo después de aplicar los tratamientos: disminución en la, estabilidad de agregados, porosidad y aumento en la densidad aparente (anexo 1b)

En el suelo de Florida a los 61 días, el tratamiento con mayor presencia de comunidades fungosas fue el T2 (100% vinaza), el menor contenido lo presentó el T4, sin embargo, estadísticamente no presentó diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos. Resultados similares reportó Lotero (2006) con diferentes dosis de vinaza aplicadas al suelo; hallando un ligero incremento de las comunidades fungosas al aplicar vinaza en dosificación de 100% y menores valores al mezclar la vinaza con fertilizantes de síntesis.

Pese a que mejorando el status de nutrientes mediante la incorporación de restos de cultivo, abonos verdes u otros materiales carbonados en el suelo, se incrementa el tamaño de la comunidad de hongos (Alexander, 1980, Labrador, 1996), aparentemente el aporte de materia orgánica de la vinaza no influyó hacia un incremento significativo de estos microorganismos, esto puede estar relacionado con la clasificación de hongos presentes y sus principales fuentes alimenticias. Probablemente este suelo este dominado por hongos que se alimentan de azúcares y sustratos de rápida descomposición como la vinaza (Primavesi (1982), que debido a la competencia por tales sustratos (Burbano, 1989); hace que los hongos lleguen a ser abundantes después de la adición de estas fuentes de carbono, aunque su número declina rápidamente después de la proliferación inicial, y agotadas estas sustancias la situación es igual a la del inicio (Burbano 1989).

En el suelo de Manuelita a los 61 días el tratamiento con mayor presencia de comunidades fungosas fue el sin vinaza (T1), seguido del T2 (100% vinaza), los menores valores fueron para T3 y T4 respectivamente, sin embargo estadísticamente no se presentaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos.

En términos generales, la aplicación de los tratamientos con vinaza y KCl en dosis de 100% causó un efecto similar en ambos suelos siendo los de

mayor presencia de comunidades fungosas en comparación a las mezclas, coincidiendo con lo reportado por Lotero (2006)

Tabla 20 Prueba de comparación de promedios de UFC de Hongos en un inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración-61 días
	5.84 x 10 ⁵ a	
1. 100% kCl		5.35 x 10 ⁵ a
2. 100% vinaza		6.47 x 10 ⁵ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		4.26 x 10 ⁵ a
4. 25%KCl+75% vinaza		2.58 x 10 ⁵ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

Tabla 21 Prueba de comparación de promedios de UFC de Hongos en un Mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

TRATAMIENTOS	EPOCAS DE MUESTREO	
	Inicio	Floración – 61 días
	5.05 x 10 ⁶ a	
1. 100% kCl		5.93 x 10 ⁵ b
2. 100% vinaza		5.06 x 10 ⁵ b
3. 50% KCl + 50% vinaza		3.55 x 10 ⁵ b
4. 25%KCl+75% vinaza		2.12 x 10 ⁵ b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P<0.05)

La cuantificación de hongos se complementó con la identificación a nivel de género de los hongos presentes con mayor frecuencia, antes y después de la aplicación de los tratamientos en ambos suelos (Tabla 22 y 23). En términos generales se observa inicialmente mayor diversidad de géneros de hongos en el suelo de Manuelita en comparación a Florida, concordante con la cantidad de unidades formadoras de colonias.

Tabla 22 Algunos géneros de hongos presentes en un inceptisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl

Organismo	Presencia
<i>Curvularia</i>	Muestreo inicial
<i>Trichoderma</i>	Muestreo inicial, T1 (2 esp.), T2, T3, T4
<i>Penicillium</i>	Muestreo inicial (2 esp.), T1 (2 esp.), T2, T3, T4
<i>Fusarium</i>	Muestreo inicial (2 esp.), T1(2 esp.), T2, T3, T4 (3 esp.)
<i>Blastomices</i>	T1
<i>Cladosporium</i>	T1
<i>Monilia</i>	T1, T2
<i>Geotrichum</i>	T1, T3
<i>Cephalosporium</i>	T1, T2, T3
<i>Aspergillus</i>	T2 (2 esp.), T3 (2 esp.), T4
<i>Gliocephalis</i>	T3
<i>Rhizopus</i>	T3
<i>Acaulospora</i>	T1
<i>Scutelospora</i>	T3
<i>Gigaspora</i>	T4

Fuente: Laboratorio de microbiología Universidad de Colombia sede –Palmira. Las similitudes se basaron sobre características no cuantificadas

Tabla 23 Algunos géneros de hongos presentes en un mollisol sometido a diferentes dosis de vinaza y KCl.

Organismo	Presencia
<i>Trichoderma</i>	Muestreo inicial, T4
<i>Micellium esterillia</i>	Muestreo inicial, T1
<i>Penicillium</i>	Muestreo inicial (2 esp.), T1 (3 esp.), T2, T3, T4
<i>Aspergillus</i>	Muestreo inicial, T2 (3 esp.), T4
<i>Monilia</i>	Muestreo inicial T4
<i>Fusarium</i>	T1 (2 esp.), T2 (4 esp.), T3 (3 esp.), T4
<i>Geotrichum</i>	T2
<i>Cephalosporium</i>	T2, T3, T4
<i>Glomus</i>	T2

Fuente: Laboratorio de microbiología Universidad de Colombia sede –Palmira. Las similitudes se basaron sobre características no cuantificadas

Los resultados obtenidos reflejan que en el suelo de Florida se incrementó la diversidad de géneros con aplicación de los tratamientos mientras que en el

suelo de Manuelita ocurrió lo contrario, lo que sugiere que al aplicar los tratamientos se presentó un efecto negativo, tanto para la cantidad, como la diversidad de estos microorganismos. En el suelo de Florida los géneros *Trichoderma*, *Penicilium*, y *Fusarium* perduraron después de aplicar los tratamientos, mientras que en Manuelita solo perduró el género *Penicilium*;

4.5.4.1 Micorrizas

En el suelo de Florida el porcentaje de colonización de micorrizas presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Los de mayor contenido de KCl obtuvieron los mayores porcentajes. El T1 presentó el valor más alto con 57,33% de colonización, seguido del T3 con 43,86%, el T4 con 41,13%; mientras que el menor porcentaje fue para el T2 (100% vinaza) con 33,44%. En el suelo de Manuelita los tratamientos presentaron el mismo comportamiento que el suelo de Florida, pero con porcentajes de colonización más altos y sin diferencias significativas entre sí. El porcentaje de colonización en el T1 fue 79,73%, seguido del T3 (79,06%), T4 (77,73%), y T2 con 73,26%.

En términos generales los tratamientos con mayores contenidos de vinaza presentaron menor porcentaje de colonización, lo que puede tener relación con algún compuesto de la vinaza que inhiba el desarrollo de estos microorganismos.

De otra parte, el mayor porcentaje de colonización en el suelo de Manuelita comparado con Florida puede estar relacionado con una estrategia de la planta para resistir las condiciones adversas que se pueden haber presentado en el suelo de Manuelita para la penetración de las raíces, debido a la compactación que se presentó en este suelo después de aplicar los tratamientos, contrario al suelo de Florida donde las raíces se desarrollaron mejor (anexo 10); al respecto Sánchez (1999) afirma que las plantas micorrizadas toleran mejor condiciones adversas, sin que ello signifique que alcancen alta productividad si sus genomas no están adaptados para resistir estos tipos de estrés.

4.6 ACUMULACIÓN DE BIOMASA

Según Elizondo & Boschini (2002), si se considera la variedad, se puede decir que cualquier tipo de maíz puede cultivarse para forraje, pero las que producen mayores rendimientos de biomasa son aquellas variedades de porte alto. Los híbridos por su parte, al ser de porte pequeño generalmente produce menos cantidad de forraje.

En la presente investigación como se menciona en la metodología se utilizó el híbrido de maíz dulce GSS 4644. Los resultados fueron discutidos teniendo en cuenta principalmente, los datos obtenidos en las variables biológicas evaluadas partiendo de la importancia de los microorganismos en el desarrollo de la planta; al respecto Marchner, (1995) afirma que la colonización de los microorganismos afecta fuertemente la nutrición de las

plantas a través de su influencia en: a) crecimiento, morfología y fisiología de las raíces b) fisiología y desarrollo de las planta c) disponibilidad de nutrientes d) toma de nutrientes. Esta relación microorganismo planta depende de las condiciones de la planta. Si está bien nutrida y crece fuerte y sana, los microorganismos la benefician y la defienden. Si la planta está mal nutrida, luchando por su supervivencia, los microorganismos patógenos pueden llegar hasta la raíz y atacarla (Primavesi, 1982).

La acumulación de biomasa en el suelo de Florida fue en promedio de $27.331,7 \text{ kg ha}^{-1}$ y en el suelo de Manuelita $16.856,1 \text{ kg ha}^{-1}$. Aunque no hubo correlación estadística vale la pena mencionar que en el suelo de Florida con mayor contenido de materia orgánica, hubo más cantidad de biomasa microbiana-C que en el suelo de Manuelita. Lo cual Según Paul & Clarck (1989) usualmente presenta correlación con el crecimiento y productividad de las plantas. Igualmente en el suelo de Florida hubo mayor eficiencia en el uso del C lo cual se reflejó en valores de $q\text{CO}_2$ inferiores a 1 y con una tendencia a disminuir en el tiempo.

En el suelo de Florida la acumulación de biomasa presentó diferencias significativa entre los tratamientos (figura 16); el mayor rendimiento fue $33.372,22 \text{ kg ha}^{-1}$ de biomasa por efecto del T2 (100% vinaza), seguido del tratamiento sin vinaza-T1 ($30.450 \text{ kg ha}^{-1}$). Aunque no se presentó correlación estadística entre el rendimiento del cultivo y la biomasa microbiana-C, se observó que en el último muestreo el T1 y T2

presentaron los valores mas altos siendo este último predominante entre los muestreos efectuados.

El suelo de Florida con aplicación del T1 presentó el mayor contenido de actinomicetos y bacterias fijadoras de nitrógeno respecto a los demás tratamientos; estimuló el crecimiento de bacterias promotoras de crecimiento. El T2 presentó los mayores valores en cantidad de hongos y bacterias.

Otro componente muy marcado en los T1 y T2 del suelo de Florida fue la diversidad bacteriana que se agrupó aparte de los demás tratamientos de ambos suelos indicando mayor diversidad de bacterias por efecto de los tratamientos.

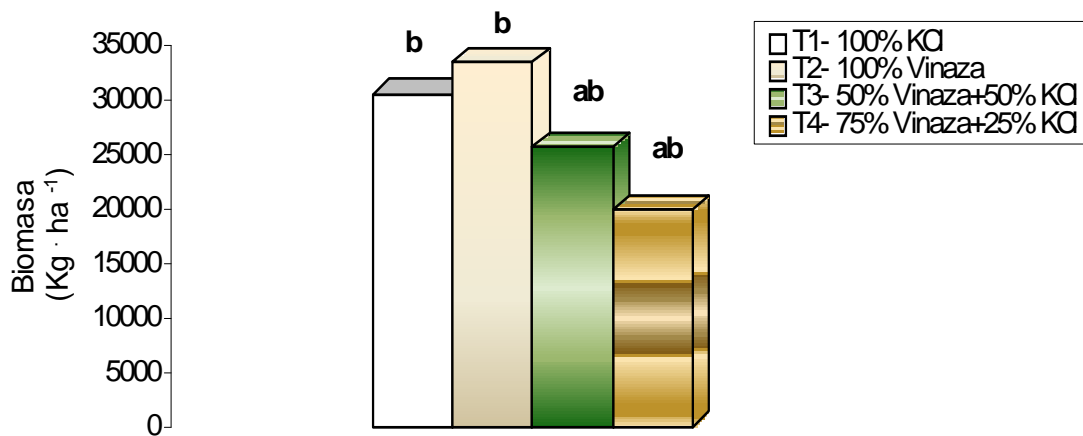
Los menores valores de acumulación de biomasa en el suelo de Florida fueron para los tratamientos con mezclas de vinaza y KCl ; T3 (25608.9 kg ha⁻¹) y T4 (19895.55 kg ha⁻¹). En el T3 las comunidades microbianas fueron menores que en el T1 y T2, sin embargo, hubo presencia de bacterias promotoras de crecimiento. En el T4 la biomasa microbiana fue la mas baja.

En el suelo de Manuelita la acumulación de Biomasa difirió estadísticamente entre los tratamientos; los valores mas altos se presentaron con aplicación del tratamiento sin vinaza T1 (21015,56 kg ha⁻¹), seguido del tratamiento

con 50% KCl y 50% vinaza T3 (18456,67 kg· ha⁻¹). Aunque no hubo correlación estadística, a continuación se mencionan propiedades biológicas que pueden haber incidido en los resultados. En el suelo con aplicación del T1 presentó el valor mas alto de biomasa microbiana en último muestreo, también fue el de mayor presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno y de hongos. El T3 presentó mayor biomasa microbiana en el segundo y tercer muestreo, fue el segundo en bacterias fijadoras de nitrógeno, y estimuló la presencia de bacterias degradadoras de urea.

Los menores valores de acumulación de biomasa en el suelo de Manuelita fueron para el T4(15824,44 kg· ha⁻¹) y el T2 (12127,78 kg· ha⁻¹). El T4 aunque no fue el de menor biomasa microbiana si presentó una disminuida presencia de los diferentes grupos microbianos evaluados. El T2 (100% vinaza) fue el de menor rendimiento en la acumulación de biomasa, con la planta de menor tamaño (0.44 m.), a excepción de la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno, presentó una considerable presencia microbiana en comparación a los demás tratamientos, sin embargo, los resultados de biomasa microbiana muestran que esta variable no se incrementó en ninguno de los muestreos y la respiración microbiana disminuyó después del segundo muestreo; este comportamiento microbiano puede haber sido el reflejo de algún factor negativo en el suelo por efecto del tratamiento que influyó considerablemente en el desarrollo de la planta.

A. Suelo Florida



B. Suelo Manuelita

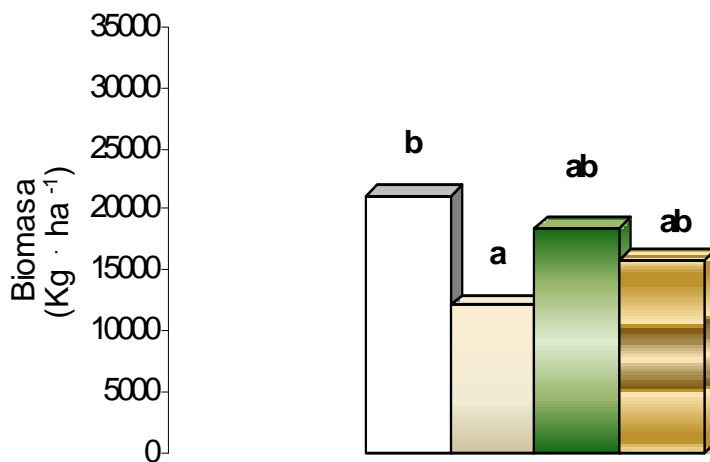


Figura 16 Acumulación de biomasa - cultivo de maíz dulce en inceptisol (A) y un mollisol (B) sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl. Valores de los tratamientos con la misma letra no difieren significativamente entre sí (prueba de Duncan, P<0.05)

En términos generales al comparar los resultados obtenidos en acumulación de biomasa, el suelo de Florida obtuvo los valores más altos y las plantas presentaron un mejor desarrollo (anexo 10)

Es posible que la compactación del suelo de Manuelita haya influido en el desarrollo de las plantas. Según (Herrera 1998, citado por Robayo 2006), La destrucción de las propiedades físicas del suelo, ha generado problemas en la productividad de los cultivos de maíz; la reducción de la porosidad, almacenamiento, y retención de agua disminuyen el desarrollo de sus raíces.

De otra parte vale la pena resaltar el mayor contenido de materia orgánica del suelo de Florida, puesto que para el maíz dulce son preferibles suelos con alto contenido de materia orgánica. (Kline citado por Fhia, 2000 y Robayo 2006), esto último puede haber favorecido en mayor proporción a este suelo, dado que es un factor incidente en la cantidad, diversidad y actividad de las comunidades microbianas que a través de su relación con la planta establecen una interacción en la mayoría de los casos recíproca.

Los resultados obtenidos en los tratamientos con aplicación de vinaza reflejan que aparentemente en un suelo con las características del suelo de Florida la vinaza pura en la dilución utilizada (T2), como fuente de potasio, estimula la acumulación de biomasa en la plantación de maíz en la misma proporción que el KCl; mientras que en un suelo con las características del de Manuelita esta dosificación de vinaza causa un efecto negativo en el

desarrollo de las plantas, en mayor proporción que las otras dosificaciones de vinaza.

5. CONCLUSIONES

1. La presencia, actividad y biomasa microbiana, dependen de las características iniciales de cada suelo, tipo de cultivo, y manejo del mismo.
2. La comunidad de unidades formadoras de colonias bacterianas y fungosas antes y después de fertilizar, permitió establecer cambios con tendencia a la disminución de bacterias en el tiempo evaluado en los suelos sin aplicación vinaza y con 50% de la misma; disminución de bacterias fijadoras de nitrógeno con aplicación de vinaza; y hongos con aplicación de vinaza en 50% y 75%.
3. La aplicación de vinaza estimuló la presencia de géneros de hongos como: *Aspergillus*, *Glicoecephalis*, y *Rhizopus* en el suelo de Florida y *Cephalosporium* en el suelo de Manuelita.
4. No se encuentra correlación estadística entre el rendimiento de maíz dulce (*Zea mays*), dosis y épocas de aplicación de vinaza, presencia microbiana, Actividad microbiana -CO₂, y biomasa microbiana-C.

5. BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, O. PEÑA, W., SERRANO, E., POCASANGRE, L. ROSALES, F., DELGADO, E., TREJOS, J., SEGURA, A. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. en: XVII Reunion de asociaciones para la cooperación en investigaciones sobre banano en el caribe en America Latina. Santa Catalina Brasil. 15 al 20 de octubre de 2006. Recuperado el 10 de noviembre de 2007, de musalit.inibap.org/pdf/IN060651_es.pdf

ALFARO R., Alfaro, J. A.. Evaluación de la vinaza como fertilizante potásico en la caña de azúcar y su efecto sobre las propiedades químicas de un suelo de Atenas, Alajuela. Tropical Stations Online Datasets EUNED/EUNA San José Costa Rica. 1996. [citado el 10 de octubre de 2005]. Disponible en: orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=GREYLIT.

ARANA R.. La vinaza de contaminante a fertilizante. RT y C - UTN • Año 6 N° 13 17 Campaña Horacio *, Rodríguez Roberto, Serra Sebastián [citado el 10 de octubre de 2005]. Disponible en: [AUPEC .feprieto@mafalda.univalle.edu.co](mailto:feprieto@mafalda.univalle.edu.co)

BOLAÑOS, M.M. Evaluación de la Actividad Enzimática (Deshidrogenasa, Proteasa, Fosfatasas y Aril sulfatasa) en la rizosfera de plátano (*Musa AAB*): Relación con propiedades de un Andisol. 2006 214 p.

BJORN, P.; SHULER, C.; JOERGENSEN, G.. Vineyard Soils under organic and conventional management-micorbial biomass and activity indices and their relation to soil chemical properties. Biol Fertil Soils 2007.

BURBANO O., H. 1994. La Materia Orgánica del Suelo en el Contexto de una Agricultura Sostenible. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Nueva Edición. Fertilidad de Suelos Diagnostico y Control. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. Ed. Silva M., Francisco, 1994. p.303-344

CAMPOS-VARELA, L.E. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a tres dosis y tres épocas de aplicación de vinaza y su efecto sobre las propiedades químicas del suelo. Heredia. Universidad Nacional. [citado el 10 de octubre de 2005]. Disponible en: CR. Tropical Stations Online Datasets. Costa Rica 1988. orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=OET.

CARRILLO, L. Microbiología Agrícola. Capitulo 3, Actividad microbiana 2003 [citado el 1 de diciembre de 2007], de www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap3.pdf

CADAVID O., CARLOS E.; 2003, Estudio de la asociación estratégica industria – agricultor para el fomento del cultivo del Maíz amarillo tecnificado en el Valle del Cauca, tesis pregrado Universidad Nacional de Colombia.

CONSTANTINI A. Et al.. Efecto sobre diferentes fertilizantes sobre el carbono de biomasa microbiana, respiración y rendimiento bajo el cultivo de lechuga. Basil 1997.

E. A., PAUL; F. E., CLARK. Soil microbiology and Biochemistry. San Diego California, 1989

ELIZONDO, J., BOSCHINI, C Producción de forraje con maíz criollo y maíz Híbrido [en línea]. Alajuela Universidad de Costa Rica, Revista agronomía mesoamericana 13(1): 13-17. 2002, citado el 2 de diciembre de 2007. Disponible en pccmca@cariari.ucr.ac.cr ISSN 1021-7444

GARCIA A. . MARULANDA E., PUERTO O., Experiencias en el uso de vinazas en la agricultura vallecaucana en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible, Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica,2004. 233 p.

GARCIA, C., GIL, F., HERNÁNDEZ, T., TRASAR, C.. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana. Ediciones mundi prensa Madrid España 2003. [citado el 20 de octubre de 2007]. Disponible en: www.mundiprensa.com

HERNÁNDEZ-SALAZAR, M. Efecto de tres niveles de vinaza y tres épocas de aplicación sobre las propiedades químicas del suelo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en un suelo ustic humitropept. [citado el 10 de octubre de 2005]. Disponible en: Tropical Stations Online Datasets. Universidad Nacional. C.R. Heredia. Costa Rica. 1988.

Incrementos de la fijación biológica del nitrógeno mediante la inoculación combinada de bacterias fijadoras de N₂ atmosférico, [citado el 6 de octubre de 2007]. Disponible en: [www,Monografias.com](http://www.Monografias.com).

NOGALES B. 2005. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Ecosistemas*. 2005/2 [citado el 10 de marzo de 2006]. Disponible en: [URL:http://www.revistaecosistemas](http://www.revistaecosistemas)

KORNDOFER ; NOLLA A; WALDO A. LARA C. Impacto ambiental del uso de la vinaza en la agricultura y su influencia en las características químicas y físicas del suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible , Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica, 2004. 233 p.

GNECO, J. G. Procesos de producción de vinaza en alcohol carburante en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible, Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica, 2004. 233 p.

GOMEZ Z. J., 2000. Abonos orgánicos. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Feriva. p. 19-22.

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

LABRADOR J., 1996., La materia orgánica en los agroecosistemas. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Mundiprensa. 174 p.

LOPEZ DE A, S, A., De SILVIEIRA, A.. Biomassa e actividade microbianas do solo sob influencia de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. *Pesq. Agropec.*, Brasilia, v 39, n 12 p 1191-1198, dez 2004

LOPEZ L. F. y Klass D.C. 1996., Efecto de Enmiendas orgánicas en la dinámica del fósforo e indicadores de la actividad biológica sobre el rendimiento del frijol en un suelo Acrudoxic Melanudand. *Agroforestería en las Américas*, Vol. 3 N°11-12

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 en el forraje de Mafalfa *pennisetum sp* en suelos del municipio de Popayán Cauca. 2006. 165p.

LUCAS C., E. (1997). Auxinas. Recuperado el 1 de diciembre de 2007, de Monografias.com.

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

MOREIRA, A. , MALAVOLTA, E..Dinámica da materia organica e da biomass microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazonia Occidental. Pesq. Agropec., Brasília, v 39, n 11 p 1103-1110, nov 2004

MORALES A., LARRAHONDO J. GODSHALL M. Identificación de compuestos orgánicos en vinaza en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible , Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica,2004. 233 p.

O'FLAHERTY, S, MCGRATH, S, HIRSCH P.. Comparison of phenotypic, functional and genetic diversity of bacterial communities in soils. En: REES, R., M., BALL, B.,C., CAMPBELL, C., D. and WATSON, C., A.. Sustainable management of soil organic matter. New York: CAB International, 2001. p. 370-376.

OLMEDO M.,GRACE J. And REES M.. Interactions between elevated CO₂ and N in soils: influence on N₂O fluxes and rizosphere denitrifier activity. En: REES, R., M., BALL, B.,C., CAMPBELL, C., D. and WATSON, C., A.. Sustainable management of soil organic matter. New York: CAB International, 2001. p. 316-323.

QUINTERO R.. Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo en: Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible, Palmira, Colombia, 14 y 15 de mayo de 2004, Corpoica,2004. 233 p.

RIASCOS G. R.1991.MONOMEROS COLOMBOVENEZOLANOS S.A.. Fertilización de cultivos en clima cálido. P. 115-122

SANCHEZ DE P. M., 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira. Feriva . p. 82-87.

SANCHEZ DE P. M., PRAGER, M. 2001. Nociones fundamentales para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira. PRONATA . 43p.

SCHINER F. et al. 1996. Methods in Soil Biology. Springer. Verlag Berlin Heidelberg 424 p.

SILVA A. 2005. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la presencia, actividad microbial, rendimiento y calidad de avena forrajera (*Avena sativa* L.) en dos suelos del departamento de Nariño. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 170 p.

SANTRUCKOVA H., HEINEMEYER O and KAISER E.. The influence of soil compaction on microbial biomass and organic carbon turnover in micro and macroaggregates. En: Soil structure/ soil biota interrelationships, London: Elsevier, 1993. p. 487-597

TATE, R. L.. 2000. Soil microbiology. 2nd ed. Jhon Wiley & Sons , New York, USA.

TENORIO Z. et al.. Estudios de la actividad biológica de dos suelos de los tableros costeros del NE de Brasil enmendados con residuos agrícolas: Vinaza y Torta de Caña de Azúcar., *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2000. v. 4, n 1, p.70-74.

THENG, B. K. G., OCHARD V. A. 1995. Interactions of Clays with microorganisms and bacterial survival in soil: a physicochemical perspective. En: P.M. Huang *et al* (eds.), environmental impact of soil component interactions, Vol. II ISSS-UNEP, U.K. Chap 12, 123-144 p.

VARGAS, M. Evaluación de vinaza aplicada al suelo a la siembra y escalonada, en comparación con la fertilización recomendada en viveros de café en bolsa. Heredia. Universidad Nacional C.R. Tropical Stations Online Datasets Costa Rica. 1987. [citado el 5 de octubre de 2007]. Disponible en: www.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/exsrch.phtml?ds=global&qbe=3475

VARGAS, M. Evaluación de vinaza aplicada al suelo a la siembra y escalonada, en comparación con la fertilización recomendada en viveros de café en bolsa. Heredia. Universidad Nacional C.R. Tropical Stations Online Datasets Costa Rica. 1987.

Anexo 1 . Propiedades físicas de los suelos Florida y Manuelita

a. Propiedades físicas del suelo de Florida antes (A) y después(B) de aplicar los tratamientos

A	%	--- Cm ³ . hora ⁻¹ ---	--- g. Cm ⁻³ ---	mm
Textura F Ar				
Arcilla	32,76			
Limo	31			
Arena	36,24			
Conductividad hidráulica		22,42		
Densidad Aparente			1,40	
Índice de estabilidad de agregados				0,30
Diámetro medio ponderado				1,01
Porosidad total				46,19
B		T1	T2	T3
Textura		F Ar	F Ar	F Ar
Arcilla (%)		32,76	33,16	33,36
Limo (%)		30,56	29,36	29,52
Arena (%)		36,68	37,48	37,12
Conductividad hidráulica(Cm³ . hora⁻¹)		9,21	9,29	19,64
Densidad Aparente(g. Cm⁻³)		1,21	1,23	1,21
Índice de estabilidad de agregados		0,64	0,59	0,72
Diámetro medio ponderado (mm)		0,68	0,84	0,70
Porosidad total		53,20	52,49	53,28

Fuente: Laboratorio de física de Suelos Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira

T1. 100% KCl, T2. 100% Vinaza, T3. 50% Vinaza + 50% KCl, T4. 75% vinaza + 75% KCl

b. Propiedades físicas del suelo de Manuelita antes (A) y después(B) de aplicar los tratamientos

A	-----%	--- Cm ³ . hora ⁻¹ ---	----- g. Cm ⁻³ -----	mm
Textura F Ar A				
Arcilla	26,76			
Limo	42			
Arena	31,24			
Conductividad hidráulica		1,17		
Densidad Aparente			1,23	
Índice de estabilidad de agregados				0,78
Diámetro medio ponderado				0,24
Porosidad total				52,5
B		T1	T2	T3
Textura		F ArA	F ArA	F ArA
Arcilla (%)		25,76	25,36	24,96
Limo (%)		42,20	42,20	42,40
Arena (%)		32,04	32,44	32,64
Conductividad hidráulica (Cm³ . hora⁻¹)		4,47	3,49	3,33
Densidad Aparente(g.Cm⁻³)		1,43	1,49	1,35
Índice de estabilidad de agregados		0,44	0,58	0,31
Diámetro medio ponderado (mm)		0,15	0,20	0,17
Porosidad total		44,94	42,54	48,01

Fuente: Laboratorio de física de Suelos Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

T1. 100% KCl, T2. 100% Vinaza, T3. 50% Vinaza + 50% KCl, T4. 75% vinaza + 75% KCl

c. Porcentaje de distribución de agregados en los tamices

Distribución de los agregados antes (A) y después(B) de aplicar los tratamientos

A	FLORIDA Tamiz					MANUELITA Tamiz				
	10	20	35	60	<60	10	20	35	60	<60
	63,51	10,16	7,87	5,45	13,5	5,50	8,91	5,26	18,00	52,27

B	FLORIDA Tamiz					MANUELITA Tamiz				
	10	20	35	60	<60	10	20	35	60	<60
T1	42,52	13,56	13,91	8,56	21,43	5,05	5,32	10,57	16,44	62,59
T2	46,28	17,46	14,16	7,63	14,45	8,24	17,44	10,88	16,17	47,65
T3	35,94	17,73	15,24	8,91	22,16	6,88	2,56	7,76	13,58	69,20
T4	36,72	16,77	16,20	8,28	22,70	3,29	2,50	10,97	13,56	69,66

Fuente: Laboratorio de física de Suelos Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira

T1. 100% KCl, T2. 100% Vinaza, T3. 50% Vinaza + 50% KCl, T4. 75% vinaza + 75% KCl

Anexo 2. Biomasa microbiana-C : Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios de la biomasa microbiana -C ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de Florida por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO			
	1. Antes de la siembra: 0 días	2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	4. cosecha: llenado de granos- 79 días
	574,93c			
1. 100% KCl		172,27a	171,69a	300,51ab
2. 100% vinaza		330,00ab	234,31ab	378,88b
3. 50% KCl + 50% vinaza		307,88ab	283,74ab	288,20ab
4. 25% KCl +75% vinaza		308,17ab	190,29a	255,51ab

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

b. Prueba de comparación de promedios de la biomasa microbiana -C ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Épocas de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% KCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25%KCl+75% vinaza
2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	172,27a	330,00b	307,88b	308,17b
3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	171,69a	234,31ab	283,74b	190,29ab
4. cosecha: llenado de granos- 79 días	300,51a	378,88a	288,20a	255,51a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

c. Prueba de comparación de promedios de la biomasa microbiana -C ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de Manuelita por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO			
	1. Antes de la siembra: 0 días	2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	4. cosecha: llenado de granos- 79 días
	208,69bcd			
1. 100% KCl		48,98a	79,35a	280,25d
2. 100% vinaza		198,80bcd	136,80abc	133,05abc
3. 50% KCl + 50% vinaza		415,07e	156,85 bc	116,29ab
4. 25%KCl+75% vinaza		224,29cd	94,17a	134,18abc

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

d. Prueba de comparación de promedios de la **biomasa microbiana -C**($\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de **Manuelita** por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Épocas de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25%KCl+75% vinaza
2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	48,98a	198,80b	415,07c	224,29b
3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	79,35a	136,80a	156,85a	94,17a
4. cosecha: llenado de granos- 79 días	280,25a	133,05b	116,29b	134,18b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Anexo 3. Actividad microbiana-CO₂ : Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios de la **Actividad Microbiana -CO₂** ($\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de **Florida** por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO			
	1. Antes de la siembra: 0 días	2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	4. cosecha: llenado de granos- 79 días
	117,34c			
1. 100% kCl		95,80c	123,91c	96,71bc
2. 100% vinaza		83,41abc	126,70c	47,10a
3. 50% KCl + 50% vinaza		98,01bc	111,14bc	70,45ab
4. 25%KCl+75% vinaza		100,12bc	101,46bc	71,73ab

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

b. Prueba de comparación de promedios de la Actividad Microbiana –CO₂ ($\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Épocas de Muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% KCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25%KCl+75% vinaza
2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	95,80a	83,41a	98,01a	100,12a
3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	123,91a	126,70a	111,14a	101,46a
4. cosecha: llenado de granos- 79 días	96,71b	47,10a	70,45ab	71,73ab

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

c. Prueba de comparación de promedios de la Actividad Microbiana –CO₂ ($\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de Manuelita por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO			
	1. Antes de la siembra: 0 días	2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	4. cosecha: llenado de granos- 79 días
	103,20cde			
1. 100% KCl		145 ef	58,12 ac	94,31 bcd
2. 100% vinaza		188,5 f	122,46 ef	113,1 4de
3. 50% KCl + 50% vinaza		98,97bcd	32,42 a	97,73 bcd
4. 25%KCl+75% vinaza		100,51 bcd	68,28 ac	178,30 f

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

d. Prueba de comparación de promedios de la **Actividad Microbiana –CO₂** ($\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$ suelo seco) presente en el suelo de **Manuelita** por efecto los **tratamientos con vinaza como fuente de potasio**

Épocas de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% KCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25%KCl+75% vinaza
2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	145ab	188,5b	98,97a	100,51a
3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	58,12a	122,46b	32,42a	68,28a
4. cosecha: llenado de granos- 79 días	94,31a	113,14a	97,73a	178,30b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Anexo 4. Cociente metabólico – $q(\text{CO}_2)$: Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios del **Cociente metabólico ($q \text{CO}_2$)** presente en el suelo de **Florida** por efecto las **épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio**

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO			
	1. Antes de la siembra: 0 días	2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	4. cosecha: llenado de granos- 79 días
	0,38abcd			
1. 100% KCl		0,57de	0,73e	0,42abcd
2. 100% vinaza		0,25ab	0,57de	0,14a
3. 50% KCl + 50% vinaza		0,26abc	0,45bcde	0,26abc
4. 25%KCl+75% vinaza		0,26abc	0,55cde	0,31abc

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

b. Prueba de comparación de promedios del Cociente metabólico ($g\ CO_2$) presente en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Épocas de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% KCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 75%KCl+25% vinaza
2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	0,57b	0,25a	0,26a	0,26a
3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	0,73a	0,57a	0,45a	0,55a
4. cosecha: llenado de granos- 79 días	0,42b	0,14a	0,26ab	0,31ab

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

c. Prueba de comparación de promedios del Cociente metabólico ($g\ CO_2$) presente en el suelo de Manuelita por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO			
	1. Antes de la siembra: 0 días	2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	4. cosecha: llenado de granos- 79 días
1. 100% KCl	0,62 a	3,05d	0,74ab	0,34a
2. 100% vinaza		0,98abc	1,04abc	1,14abc
3. 50% KCl + 50% vinaza		0,25a	0,56a	0,87ab
4. 75%KCl+25% vinaza		0,47abc	1,88c	1,68bc

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

d. Prueba de comparación de promedios del **Cociente metabólico ($g\ CO_2$)** presente en el suelo de **Manuelita** por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Épocas de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25%KCl+75% vinaza
2. después de la primera fertilización: prefloración- 28 días	3,05c	0,98b	0,25a	0,47a
3. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	0,74a	1,04a	0,56a	1,88a
4. cosecha: llenado de granos- 79 días	0,34a	1,14ab	0,87ab	1,68b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Anexo 5. Bacterias- Unidades Formadora de Colonias: Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios de **UFC de Bacterias** presentes en el suelo de **Florida** por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	1.74x 10 ⁸ a	
1. 100% kCl		1.06 x 10 ⁷ b
2. 100% vinaza		6.47x 10 ⁷ b
3. 50% KCl + 50% vinaza		2.98x 10 ⁶ b
4. 25%KCl+75% vinaza		4.07 x 10 ⁷ b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

b. Prueba de comparación de promedios UFC de Bacterias presentes en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Época de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25%KCl+75% vinaza
2. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	1.06 x 10 ⁷ a	6.47x 10 ⁷ a	2.98 x 10 ⁶ a	4.07 x 10 ⁷ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

c. Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias presentes en el suelo de Manuelita por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
1. 100% kCl	2.61 x 10 ⁷ a	2.49 x 10 ⁶ a
2. 100% vinaza		2.75 x 10 ⁷ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		2.26 x 10 ⁷ a
4. 25%KCl+75% vinaza		6.27 x 10 ⁷ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

d. Prueba de comparación de promedios UFC de Bacterias presentes en el suelo de Manuelita por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Época de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	2.49 x 10 ⁶ a	2.75x10 ⁷ b	2.26 x 10 ⁷ ab	6.27x 10 ⁷ c

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

Anexo 6. Bacterias Fijadoras de nitrógeno- Unidades Formadoras de Colonias: Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno presentes en el suelo de Florida por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	3.09 x 10 ⁶ a	
1. 100% kCl		1.07 x 10 ⁶ b
2. 100% vinaza		2.46 x 10 ⁵ b
3. 50% KCl + 50% vinaza		7.84 x 10 ⁵ b
4. 25%KCl+75% vinaza		1.31 x 10 ⁵ b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

b. Prueba de comparación de promedios UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno, presentes en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Época de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl +50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	1.07 x 10 ⁶ b	2.46 x 10 ⁵ a	7.84 x 10 ⁵ ab	1.31 x 10 ⁵ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

c. Prueba de comparación de promedios de UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno presentes en el suelo de Manuelita por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	1.32 x 10 ⁶ a	
1. 100% kCl		1.03 x 10 ⁶ a
2. 100% vinaza		3.75 x 10 ⁵ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		4.35 x 10 ⁵ a
4. 25%KCl+75% vinaza		3.14 x 10 ⁵ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

d. Prueba de comparación de promedios UFC de Bacterias fijadoras de nitrógeno, presentes en el suelo de Manuelita por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

TRATAMIENTOS				
Época de muestreo	1. 100% KCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización:				
floración- 61 días	1.03×10^6 a	3.75×10^5 a	4.35×10^5 a	3.14×10^5 a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Anexo 7 . Actinomicetos- Unidades Formadoras de Colonias: Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios de UFC de Actinomicetos presentes en el suelo de Florida por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	3.40×10^4 a	
1. 100% KCl		4.86×10^4 a
2. 100% vinaza		1.41×10^4 a
3. 50% KCl + 50% vinaza		9.91×10^3 a
4. 25%KCl+75% vinaza		3.31×10^4 a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

b. Prueba de comparación de promedios UFC de Actinomicetos, presentes en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

TRATAMIENTOS				
Época de muestreo	1. 100% KCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización:				
floración- 61 días	4.86×10^4 b	1.41×10^4 a	9.91×10^3 a	3.31×10^4 b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

c. Prueba de comparación de promedios de **UFC de Actinomicetos** presentes en el suelo de **Manuelita** por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	8.04 x 10 ⁴ a	
1. 100% kCl		2.17 x 10 ⁴ a
2. 100% vinaza		1.40 x 10 ⁵ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		1.23 x 10 ⁵ a
4. 25%KCl+75% vinaza		4.41 x 10 ⁴ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

d. Prueba de comparación de promedios **UFC de Actinomicetos**, presentes en el suelo de **Manuelita** por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

Época de muestreo	TRATAMIENTOS			
	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización: floración- 61 días	2.17 x 10 ⁴ b	1.40 x 10 ⁵ a	1.23 x 10 ⁵ a	4.41 x 10 ⁴ ab

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, P< 0.05)

Anexo 8. Hongos - Unidades Formadoras de Colonias: Resumen de las pruebas de comparación de medias

a. Prueba de comparación de promedios de **UFC de Hongos** presentes en el suelo de **Florida** por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	5.84 x 10 ⁵ a	
1. 100% kCl		5.35 x 10 ⁵ a
2. 100% vinaza		6.47 x 10 ⁵ a
3. 50% KCl + 50% vinaza		4.26 x 10 ⁵ a
4. 25%KCl+75% vinaza		2.58 x 10 ⁵ a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

b. Prueba de comparación de promedios UFC de Hongos, presentes en el suelo de Florida por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

TRATAMIENTOS				
Época de muestreo	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización:				
floración- 61 días	5.35×10^5 a	6.47×10^5 a	4.26×10^5 a	2.58×10^5 a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

c. Prueba de comparación de promedios de UFC de Hongos presentes en el suelo de Manuelita por efecto las épocas de muestreo con vinaza como fuente de potasio

Tratamientos	EPOCAS DE MUESTREO	
	1. Antes de la siembra	2. después de la segunda fertilización (floración)
	5.05×10^6 a	
1. 100% kCl		5.93×10^5 b
2. 100% vinaza		5.06×10^5 b
3. 50% KCl + 50% vinaza		3.55×10^5 b
4. 25%KCl+75% vinaza		2.12×10^5 b

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

d. Prueba de comparación de promedios UFC de Hongos, presentes en el suelo de Manuelita por efecto los tratamientos con vinaza como fuente de potasio

TRATAMIENTOS				
Época de muestreo	1. 100% kCl	2. 100% vinaza	3. 50% KCl + 50% vinaza	4. 25% KCl + 75% vinaza
2. después de la segunda fertilización:				
floración- 61 días	5.93×10^5 a	5.06×10^5 a	3.55×10^5 a	2.12×10^5 a

Promedios con la misma letra en filas no difieren significativamente entre si (prueba de Duncan, $P < 0.05$)

Anexo 9: Porcentajes de humedad entre tratamientos (T) y muestreos (M)

SUELO	HUMEDAD (%)			
	M1	M2	M3	M4
FLORIDA	103,89			
T1		88,75	94,87	103,54
T2		76,51	99,27	102,49
T3		89,58	95,10	122,00
T4		98,10	116,97	103,79
MANUELITA	103,94			
T1		62,50	68,02	71,35
T2		62,50	80,91	82,67
T3		72,32	57,09	75,48
T4		72,32	66,18	69,77

Anexo 10 Acumulación de biomasa - cultivo de maíz dulce en un mollisol y un Inceptisol sometidos a diferentes dosis de vinaza y KCl

Suelo	Tratamiento	Biomasa (Kg . ha ⁻¹)	Altura (m.)	Longitud de raíz (cm.)
Florida	T1-100% KCl	30450	1,38	15,94
	T2-100% Vinaza	33372,2	1,48	16,48
	T3-50% vinaza+50% KCl	25608,9	1,45	15,07
	T4-75% vinaza+25% KCl	19895,6	1,40	14,46
Manuelita	T1 -100% KCl	21015,6	0,83	13,46
	T2 -100% Vinaza	12127,8	0,44	6,40
	T3 -50% vinaza+50% KCl	18456,7	1,00	12,36
	T4 -75% vinaza+25% KCl	15824,4	0,74	8,98