

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA MICROBIANA, EN DOS CULTIVARES  
DE PLÁTANO (HARTÓN Y DOMINICO HARTÓN) UBICADOS EN LA VEREDA  
URUBAMBA, MUNICIPIO DE TIMBIO (CAUCA)**

**ÁNGELA MARÍA GARCÍA LÓPEZ  
NAYIBE MESA CONCHA**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA INGENIERÍA AGROPECUARIA  
POPAYÁN  
2010**

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA MICROBIANA, EN DOS CULTIVARES  
DE PLÁTANO (HARTÓN Y DOMINICO HARTÓN) UBICADOS EN LA VEREDA  
URUBAMBA, MUNICIPIO DE TIMBIO (CAUCA)**

**ÁNGELA MARÍA GARCÍA LÓPEZ  
NAYIBE MESA CONCHA**

**Trabajo de investigación para optar al título de  
Ingeniero Agropecuario**

**DIRECTOR  
M.Sc. IVÁN ENRIQUE PAZ**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA INGENIERÍA AGROPECUARIA  
POPAYÁN  
2010**

**Nota aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Director trabajo de grado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Popayán, 16 de noviembre de 2010

## DEDICATORIA

A mis padres quienes con su confianza y cariño me impulsaron a avanzar; a mis hermanos por su respaldo y acompañamiento infinito, a mis familiares y amigos que me alentaron; a Elkin que con amor me apoyo, pero sobre todo a Dios que fue mi guía y protector.

Ángela García López

A Dios, por brindarme una familia maravillosa y llena de amor para conmigo, porque hoy no solo es mi realidad, es la de todos los que conforman mi tesoro máspreciado. A Benjamín por su incondicional apoyo y mi eterna gratitud. A cada ser increíble que he conocido y me ha regalado algo de su conocimiento para avanzar.

Nayibe Mesa Concha

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos

A Dios por su infinita creación.

Al M.Sc. Iván Enrique Paz Narváez nuestro gran director, por su valiosa contribución en nuestro proceso formativo.

Al Administrador Andrés Ordoñez por su colaboración incondicional en el desarrollo del presente Trabajo.

Al personal docente, administrativo y directivo de la Universidad del Cauca, centro de inigualables condiciones humanas y técnicas, artífices de nuestra formación superior.

A nuestras familias quienes nos brindaron amor y apoyo incondicional.

A todos . . . nuestra gratitud.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1 GENERAL	19
1.2 ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 EL CULTIVO DEL PLÁTANO	20
2.1.1 Impacto en Colombia y el Cauca	20
2.1.2 Botánica	21
2.1.2.1 Sistema radicular	21
2.1.2.2 Tallo	22
2.1.2.3 El pseudotallo	22
2.1.2.4 Hojas	22
2.1.2.5 La inflorescencia o racimo	22
2.1.3 Variedades conocidas	22
2.1.3.1 Clon Hartón	23
2.1.3.2 Clon Dominicó–Hartón	23
2.1.3.3 Clon “Dominico	24
2.1.3.4 Clones “Cachaco”, “Pelipita” y Africa	24
2.1.4 Propagación	25
2.1.4.1 Técnica tradicional	25
2.1.4.2 Técnica Baker	25
2.1.4.3 Técnica Halmiton	25
2.1.4.4 Técnica <i>In vitro</i>	26
2.1.4.5 Técnica de “inducción de brotes	26
2.1.5 Establecimiento	26
2.1.6 Fertilización	27
2.1.7 Aprovechamiento de agua	27
2.1.8 Cosecha	28
2.1.9 Empaque	29
2.2 EL SISTEMA SUELO	29
2.2.1 Tipos de Suelos	31
2.2.3 Propiedades del suelo	32
2.2.3.1 Propiedades físicas	32
2.2.3.2 Propiedades químicas	34
2.2.3.3 Propiedades biológicas	34
2.2.4 La calidad del suelo	35

	pág.
2.2.4.1 Indicadores de la calidad del suelo	35
2.2.4.2 Los microorganismos del suelo	38
2.2.4.3 Importancia de los microorganismos como indicadores de la calidad del suelo	40
2.2.4.4 Factores que afectan la actividad de los microorganismos	41
2.2.4.5 Algunos indicadores de actividad biológica en el suelo	43
3. METODOLOGÍA	46
3.1 UBICACIÓN	46
3.2 SELECCIÓN DE LOTES	46
3.3 INDICADORES A CARACTERIZAR	48
3.4 MUESTREO	48
3.5 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO	48
3.5.1 Método para la determinación de respiración en el suelo (C-CO <sub>2</sub> ).	48
3.5.1.1 Procedimiento en campo	48
3.5.1.2 Procedimiento en el laboratorio	51
3.5.1.3 Procedimiento matemático	51
3.5.2 Estimación de la biomasa microbiana BMS, en función del carbono microbiano (Método de fumigación–extracción, CIAT).	52
3.5.2.1 Procedimiento en campo	52
3.5.2.2 Procedimiento en laboratorio	53
3.5.2.3 Procedimiento matemático	56
3.6 ANÁLISIS DE DATOS	57
4. RESULTADOS	58
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS ÁREA DE ESTUDIO	58
4.2 EFECTO DE LOS CLONES SOBRE LA DINÁMICA MICROBIANA	60
4.2.1 Efecto de los clones sobre actividad biológica	60
4.2.2 Efecto de los clones en época seca	61
4.2.3 Efecto de los clones en época lluviosa	61
4.2.4 Efecto de los clones sobre la biomasa microbiana	63
4.2.5 Efecto de los clones sobre la biomasa microbiana en época seca	63
4.2.6 Efecto de los clones sobre la biomasa microbiana en época lluviosa	64
4.3 EFECTO DISTANCIA SOBRE LA DINÁMICA MICROBIANA	66
4.3.1 Efecto distancia sobre actividad biológica	66
4.3.2 Efecto distancia sobre la actividad biológica en época seca	66
4.3.3 Efecto distancia sobre actividad biológica en época lluviosa	67
4.3.4 Efecto distancia sobre la biomasa microbiana	68
4.3.5 Efecto distancia sobre la biomasa en época seca	68
4.3.6 Efecto distancia sobre la biomasa en época lluviosa	69

	pág.
4.4 EFECTO ESTADO SOBRE LA DINÁMICA MICROBIANA	70
4.4.1 Efecto estado sobre actividad biológica	70
4.4.2 Efecto estado sobre la actividad biológica en época seca	71
4.4.3 Efecto estado sobre la actividad biológica en época lluviosa	71
4.4.4 Efecto estado sobre la biomasa microbiana	73
4.4.5 Efecto Estado sobre la biomasa en época seca	73
4.4.6 Efecto Estado sobre la biomasa en época lluviosa	74
5. CONCLUSIONES	76
6. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	87

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Área cosechada, producción y rendimiento del cultivo del plátano, por regiones naturales de Colombia, 2001	21
Tabla 2. Comparación de tres variedades de plátano cultivadas en zona de Caldon, Cauca	25

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Distribución en campo	47
Figura 2. Plantas marcadas según su estado a) Roja estado inadecuado b) Amarillo estado medio	47
Figura 3. Recipientes de vidrio con el NaOH cubiertos con los recipientes plásticos a las dos distancias establecidas (10 - 40 cm)	50
Figura 4. 24 horas después del montaje a) adición de cloruro de bario en el sitio de muestreo b) recipiente de vidrio con cloruro de bario	50
Figura 5. Tamizaje muestras de suelo para el laboratorio de biomasa microbiana	53
Figura 6. Muestras denominadas fumigadas en el desecador para el desarrollo de biomasa microbiana	54
Figura 7. Muestras denominadas no fumigadas para el desarrollo de biomasa	54
Figura 8. Muestras en el bloque de digestión a 150°C	55
Figura 9. Titulación. a) Fase inicial, la muestra toma un color verde agua marina. b) Fase final, la muestra toma un color café	56

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Comparación entre el promedio de precipitación histórica entre enero y mayo y el promedio de precipitación en el 2009	58
Gráfica 2. Promedios mensuales de precipitación entre enero-mayo 2010	59
Gráfica 3. Datos de temperatura y precipitación, entre enero y mayo de 2010	59
Gráfica 4. Promedio de actividad biológica basada en respiración ( $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$ ) de los clones Hartón y Dominico-Hartón, durante el período de evaluación (enero-mayo)	60
Gráfica 5. Comparación efecto clon en época seca y lluviosa medida en respiración ( $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$ )	61
Gráfica 6. Promedio de actividad biológica basada biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/gss}$ ) en de los clones Hartón (H) y Dominico-Hartón (DH), durante el periodo de evaluación (enero-mayo)	63
Gráfica 7. Comparación efecto clon en época seca y lluviosa medida en biomasa microbiana $\mu\text{g C/gss}$ época seca y lluviosa	64
Gráfica 8. Relación entre las distancias a 10 cm y 40 cm en la actividad biológica medida en respiración $\mu\text{g (C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2)$ durante la evaluación	66
Gráfica 9. Comparación efecto distancia en época seca y lluviosa medida en respiración ( $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$ )	67
Gráfica 10. Relación del efecto distancia a 10 cm y 40 cm de la actividad biológica medida en biomasa microbiana $\mu\text{g C/gss}$ durante la evaluación	68
Gráfica 11. Relación del efecto distancia a 10 cm y 40 cm de la actividad biológica medida en biomasa microbiana $\mu\text{g C/gss}$ durante la época seca y lluviosa	69
Gráfica 12. Relación del efecto estado de la planta sobre la actividad biológica medida en respiración $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$ durante la evaluación	71
Gráfica 13. Relación del efecto estado sobre la actividad biológica medida en respiración( $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$ ) durante la época seca y lluviosa	72

	pág.
Gráfica 14. Promedios efecto estado de la planta sobre la actividad biológica medida en biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/gss}$ ) durante la época de evaluación (enero-mayo)	73
Gráfica 15. Promedios efecto estado de la planta sobre la actividad biológica medida en biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/gss}$ ) durante la época seca y lluviosa	74

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Macrolocalización	88
Anexo 2. Promedios y análisis de varianza (ANAVA, $\alpha=0.05$ ) para efecto clon medido en actividad biológica época seca	88
Anexo 3. Promedios y análisis de varianza (ANAVA, $\alpha=0.05$ ) para efecto clon medido en biomasa época lluviosa	89
Anexo 4. Prueba Duncan, ( $\alpha=0.05$ ) para promedios de variables biológicas en diferentes épocas de muestreo (seca y lluviosa)	89
Anexo 5. Comparación de promedios (prueba de t, $\alpha=0.05$ ) de actividad biológica de los clones Hartón (H) y Dominico-Hartón (DH) durante el tiempo total de muestreo (época seca y lluviosa)	90
Anexo 6. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la biomasa microbiana, según efecto de los clones Hartón (H) y Dominico-Hartón (DH), en época seca y lluviosa	90
Anexo 7. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la actividad biológica, según efecto de distancia en época seca y lluviosa	91
Anexo 8. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la biomasa microbiana, según efecto distancia en época seca y lluviosa	91
Anexo 9. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la actividad biológica, según efecto estado en época seca y lluviosa	91
Anexo 10. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la actividad biológica, según efecto estado en época seca	92
Anexo 11. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la actividad biológica, según efecto estado en época lluviosa	92
Anexo 12. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la biomasa microbiana, según efecto estado en época seca y lluviosa	92

	pág.
Anexo 13. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la biomasa microbiana, según efecto estado en época seca	93
Anexo 14. Prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) para promedios procedentes de la biomasa microbiana, según efecto estado, en época lluviosa	93
Anexo 15. Resultado del análisis de suelos lote n° 4 café-plátano en la finca La Sultana	94

## GLOSARIO

**Andisol:** se caracterizan por tener minerales arcillosos de bajo grado de ordenamiento por complejos de aluminio-humus producto de la meteorización volcánica y contienen alta proporción de alófanas en fracción arcillosa, así, como Imogolita, Ópalo y Ferrihidrita.

**Biomasa:** comunidades ecológicas de seres vivos-plantas, animales, microorganismos. Es el resultado del metabolismo expresado de nuevas moléculas, surgimiento de nuevas células, crecimiento y producción.

**Calidad y salud del suelo:** se entiende como la capacidad que tiene el suelo para funcionar en un ecosistema natural o antrópico, mejorar la productividad de las plantas y animales sin afectar el agua, el aire, salud y bienestar del hombre y del ecosistema. Es decir, es la capacidad de producir sin degradar o perjudicar el medio ambiente. La salud del suelo es la parte integrante de su calidad.

**Clon:** organismo o grupo de organismos que derivan de otro a través de un proceso de reproducción asexual (no sexual). Por lo general, los miembros de un clon tienen características hereditarias idénticas, es decir sus genes son iguales, con excepción de algunas diferencias menores.

**Endorrizósfera:** zona de la rizosfera establecida dentro de las células corticales o alrededor de ellas, a la cual acceden los hongos que forman micorriza arbuscular, las bacterias como rizóbios y también organismos patogénicos.

**Ectorrizosfera (exo-rizosfera o rizosfera):** se utiliza este término para delimitar la zona más externa de la rizosfera que hace contacto con el suelo no rizosférico.

**Fotosíntesis:** proceso metabólico mediante el cual los vegetales, las algas y algunas bacterias, a través de la energía de la luz, transforman el agua que absorben por la raíz y el anhídrido de carbono que adquieren las hojas, en sustancias orgánicas sencillas.

**Pedogénesis:** parte de la ciencia del suelo que trata de los factores y procesos de formación del suelo.

**Radicula:** extremo basal del eje embrionario, raíz originada en la semilla y que dará la raíz primaria.

**Resiliencia del suelo:** capacidad del suelo para mantener su estructura y funcionalidad frente a transformaciones o cambios externos, que son asimilados gracias a las propiedades físicas, químicas y biológicas actuando en conjunto.

**Respiración aeróbica:** conjunto de reacciones bioquímicas que realizan la mayoría de organismos, con el fin de obtener energía (ATP), en las cuales el oxígeno es el aceptor final de electrones.

**Respiración anaeróbica:** conjunto de reacciones bioquímicas que realizan algunos microorganismos, con el fin de obtener energía (ATP), las cuales ocurren en ausencia de oxígeno O<sub>2</sub>.

**Rizodeposición:** carbono liberado a través de los exudados radicales, puede llegar a representar entre el 40% y el 70% del carbono que la planta traslada al sistema radical.

**Rizósfera:** zona de la interfase entre las raíces de las plantas y el suelo, en el cual ocurre una intensa actividad biológica y bioquímica que lleva a que tanto la raíz de las plantas como las propiedades del suelo se ven afectadas.

**Rizoma:** modificación de tallo subterráneo de entrenudos cortos a partir de los cuales brotan raíces adventicias y de cuyo ápice emergen tallos.

**µg C/gss:** microgramos de carbono orgánico sobre gramos de suelo seco. Medida utilizada en biomasa microbiana.

**µg C-CO<sub>2</sub>\*h\*m<sup>2</sup>:** microgramos de carbono provenientes del CO<sub>2</sub> de la respiración por hectárea por metro cuadrado. Medida utilizada en respiración.

## RESUMEN

Se realizó un estudio para evaluar la dinámica microbiana en dos clones de plátano (Hartón y Dominico-Hartón) en la vereda Urubamba, municipio de Timbio departamento del Cauca. En el sitio de investigación se seleccionaron nueve plantas de cada clon, clasificadas en tres estados (adecuadas, medias, inadecuadas), las cuales se muestrearon durante dos épocas establecidas como seca y lluviosa para obtener información sobre respiración y biomasa microbiana a dos distancias diferentes 10 y 40 cm de la base del tallo.

Con respecto a los clones, se obtuvo mayores valores promedios de respiración ( $82,9 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ) y biomasa microbiana ( $4513,2 \mu\text{g C/gss}$ ) en la rizosfera del clon hartón y en época lluviosa. Tanto la respiración ( $62,4 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ) como la biomasa microbiana ( $2568,32 \mu\text{g C/gss}$ ) presentaron los mejores valores promedios a los 10 cm de distancia; al realizar el análisis respecto al estado de la planta, en la respiración se encontró que las plantas denominadas inadecuadas presentaron una menor respiración ( $52,6 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), por el contrario para la biomasa microbiana no se presentaron diferencias entre los estados.

Durante esta evaluación se encontró que la época lluviosa incidió en los resultados de biomasa microbiana y respiración incrementando aquellos valores de estas variables presentados en la época seca.

### Palabras claves

Dinámica microbiana, respiración, biomasa microbiana, plátano, hartón, dominico hartón.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del plátano es uno de los productos más importantes a nivel nacional, ya que participa con el 6,8% del volumen total de la producción agrícola ocupando el quinto lugar después del café, la caña de azúcar, la papa y las flores (Ministerio de agricultura, 2007). Sin embargo, el manejo tradicional que se le ha dado a la mayoría de las plantaciones en el Cauca, no ha permitido obtener producciones técnicamente aceptables y ha conducido al deterioro generacional de las mismas.

Una de las causas es el desconocimiento de las relaciones entre las características físicas, químicas y especialmente las biológicas de los suelos sobre los cuales se cultiva el plátano.

La finca La Sultana propiedad de la Universidad del Cauca ubicada en la vereda Urubamba en el municipio de Timbío, cuenta con un cultivar de diferentes tipos de plátano; el cual ha sido vinculado como parcela experimental al proyecto "*Producción y Caracterización de Películas Flexibles Biodegradables por Extrusión de Tornillo Simple a partir de Almidón de Yuca, Plastificante y PLA*", con el objetivo de evaluar el efecto de la biodegradación de los empaques tubulares activos a base de almidón de yuca (*Manihot sculentum*) con adición de capsaicina, en la dinámica microbiana de un suelo cultivado con plátano (*Musa paradisiaca*), para lo cual es necesario conocer previamente la cuantificación de indicadores biológicos como actividad en el suelo, tasa de respiración (consumo de O<sub>2</sub> y emisión de CO<sub>2</sub>), biomasa microbiana, entre otras, es importante para el diagnóstico de sanidad y potencial de fertilidad del suelo agrícola, así mismo para planificar el manejo del mismo y garantizar la producción y calidad del cualquier cultivo, en este caso el plátano.

Para caracterizar la dinámica microbiana, en suelos de dos cultivares de plátano Hartón (H) y Dominico-Hartón (DH) se tomaron unidades experimentales que fueron muestreadas por triplicado en diferentes distancias (10 y 40 cm) en dos momentos climáticos (época seca y lluviosa). El conocimiento de toda esta dinámica permitirá establecer momentos óptimos para la preservación y resiliencia del suelo para mejorar las condiciones del cultivo.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 GENERAL**

Caracterizar la dinámica microbiana, en suelos de dos cultivares de plátano (Hartón y Dominico-Hartón) ubicados en la vereda Urubamba, municipio de Timbío (Cauca).

### **1.2 ESPECÍFICOS**

- Estimar el nivel de actividad biológica y biomasa microbiana en dos cultivares de plátano (Hartón y Dominico Hartón) y en dos épocas con diferentes condiciones climáticas.
- Evaluar dos distancias de muestreo para la estimación de los indicadores biológicos mencionados.
- Evaluar la relación de la dinámica microbiana con el estado de desarrollo de la planta.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 EL CULTIVO DEL PLÁTANO

El plátano tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650. La especie llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en el año 1516. El cultivo comercial se inicia en Canarias a finales del siglo XIX y principios del siglo. (Perea, 2003).

**2.1.1 Impacto en Colombia y el Cauca.** El plátano en Colombia, tiene gran importancia social y económica, ocupando un área cercana a las 400.000 hectáreas. Hoy el 4% de la producción nacional se exporta el resto se destina al consumo interno en fresco y una pequeña parte para la agroindustria, del área cultivada del plátano, el 87% se encuentra como monocultivo tradicional asociado a cultivos de café, yuca, cacao y frutales, mientras el 13% como cultivo tecnificado. Este producto ocupa el tercer puesto en la canasta familiar como fuente básica en la alimentación, está disperso en 28 departamentos en donde Antioquia tiene el 14% de la producción le siguen en importancia Quindío, Córdoba, Meta y Tolima cada uno con el 11% de la producción nacional. (CCI, 2000)

El cultivo genera cerca de 286.000 empleos permanentes por año, es decir, unas 57.000 familias se dedican a las labores del cultivo en todo el país; en la región andina e interandina el cultivo del plátano genera aproximadamente 175.000 empleos permanentes por años. Teniendo encuentra 10% de perdidas pos cosechas, se estima que el valor de la producción aporta 54.5 millones de dólares al producto interno bruto. (CCI, 2000)

En la distribución de las zonas productoras la región andina aparece como la de mayor importancia, por cuanto en ella se concentra 61.4% del área de producción aportando 58% de la producción nacional. Le siguen en importancia la región pacífica que participa con el 11.8% y 9.3% del área cosechada y la producción respectivamente. Por lo último las regiones del Caribe, Orinoquia, amazónica y las islas de San Andrés y Providencias con 26.8% y 20% del área cosechada y la producción, con respecto al total nacional (ver tabla 1).

Tabla 1. Área cosechada, producción y rendimiento del cultivo del plátano, por regiones naturales de Colombia, 2001

Región natural	Área (ha)	Pn(tn/año)	Rendimiento (tn/ha/año)	Participación del área (%)	Participación pn(%)
Caribe	42.502	365.436	8.6	11.1	12.5
Pacífica	44.990	273.058	6.1	11.8	9.3
Andina e interandina	233.971	1.721.442	7.4	61.4	58.8
Orinoquia	29.878	390.700	13.1	7.8	13.4
Amazonia	29.966	175.777	5.9	7.9	6.0
San Andrés	46	169	3.7	0	0
Total	381.352.0	2.926.581	7.7	100.0	100.0

Fuente: Carlos Gutiérrez, Minagricultura, Junio de 2002

A nivel departamental la actividad agrícola está en cabeza de los pequeños minifundistas con más de 3.000 predios que se dedican a la siembra de cultivos transitorios de maíz, sorgo, soya, yuca y frutales, al igual que a cultivos asociados a la finca econativa o tradicional que asocia, plátano, frutales, árboles de sombrío, representando el 18% de la actividad económica del sector. Según Augura (2000), en el departamento del Cauca no existen monocultivos de plátano, en cambio es un departamento productor de café, que usa el plátano como sombrío, sin embargo la producción de plátano no satisface las necesidades del consumidor razón que motiva a que en la plaza de mercado del barrio Bolívar se oferte muy poca cantidad plátano de la región, y sea necesario importarlo del Ecuador y departamentos donde la producción es más especializada y con frutos de mejor calidad.

**2.1.2 Botánica.** El plátano pertenece a la familia de las Musáceas, es una planta herbácea perene con rizoma corto y tallo aparente, resulta de la unión de las vainas foliares, cónica de 3,5 - 7,5 m de altura terminando en una corona de hojas.

Una planta de plátano está conformada por las siguientes partes: raíces, tallo, cormo o rizoma, pseudotallo, yemas, hojas y racimo o inflorescencia.

**2.1.2.1 Sistema radicular.** Las raíces le permiten a la planta tomar el agua y los nutrientes del suelo, el sistema radicular está conformado por raíces de sostén que crecen verticalmente hasta 1.80 m de profundidad, las raíces de superficiales que se distribuyen en una capa de 30 - 40 cm. Concentrándose la mayor parte de

ellas en los 15 – 20 cm. Las raíces son de color blanco, tiernas cuando emergen y amarillentas y duras posteriormente, su diámetro oscila entre 5 y 8 mm y su longitud puede alcanzar 2.5 – 3 mm en crecimiento lateral.

2.1.2.2 Tallo. La unidad básica de multiplicación vegetativa de la planta es el colino, constituido por un tallo subterráneo denominado cormo, que es un bulbo con entrenudos cortos y yemas axilares. Estas yemas al desarrollarse dan origen a nuevos colinos que conforman en conjunto la planta de plátano.

El cormo o tallo da origen a las raíces, sostiene la planta, genera los colinos (hijuelos, puyones o retoños) produce las hojas y el racimo. (CORPOICA, 2003).

2.1.2.3 El pseudotallo. Está formado por vainas o calcetas de hojas, que entrelazadas, se envuelven unas a otras. La edad de la planta, el ciclo reproductivo y la variedad determinan la altura y grosor del pseudotallo de la planta. El color depende de la variedad, cambia de verde a claro a rojo. Las funciones son sostener el racimo, transportar agua y nutrimentos. (Vilora 2008)

2.1.2.4 Las hojas. Se distribuyen en forma espiral y aparecen con intervalos de tiempo, influenciados por la altura sobre el nivel del mar, la variedad y el régimen de lluvias. Una hoja está conformada por el limbo, la nervadura central, peciolo y la vaina o calceta; cada planta de plátano forma durante su ciclo vegetativo entre 36 a 40 hojas, las cuales se desarrollan aproximadamente cada 6 días en zona cálida y cada 12 días en zonas de mayor altitud. (CORPOICA, 2003)

2.1.2.5 La inflorescencia o racimo. Se desarrolla en el interior del tallo a partir del ápice de crecimiento. Está compuesta por el tallo floral o raquis que sostiene la bellota o flor. Las flores femeninas del racimo son hojas modificadas de color morado o púrpura llamadas brácteas; estas se caen y dejan ver grupos de flores femeninas que originan manos o gajos del racimo. Cada flor en las diferentes manos se denomina dedo, que para los clones Dominicó, Dominicó Hartón y Hartón no producen semilla. (CORPOICA, 2003)

**2.1.3 Variedades conocidas.** En Colombia se siembran diferentes clones de plátano comestible, pero de acuerdo con su uso en la alimentación humana y comercialización de fruta, cinco son los más cultivados y explotados. De éstos, tres conocidos comúnmente como “Dominicó”, “Dominicó-Hartón” y “Hartón”, que poseen dominancia del genoma acuminata (AAB), son los más explotados tanto a escala familiar como comercial; mientras, que los dos restantes denominados

como “Cachaco” o “Popocho” y “Pepita”, y África con dominancia del genoma Balbisia (AAB), son cultivados únicamente a nivel de núcleo familiar, principalmente en aquellas áreas ecológicas marginales para el cultivo de los tres primeros clones (ICA, 2003).

La información que se suministra a continuación corresponde a los registros de la Colección Colombiana de Musáceas (CCM), del Centro de Investigación del ICA en Palmira, bajo condiciones de bosque seco tropical con altura de 975 msnm, temperatura promedio de 24°C, 72% de humedad relativa, 1.020mm de lluvia, con régimen de precipitación bimodal.

Perea (2003), menciona que la distribución de estos cultivares es de carácter nacional por la magnitud de su cobertura, puesto que se encuentran cultivados en pequeña o en gran escala, en todos los pisos térmicos comprendidos entre el nivel del mar y los 2000 m de altitud. Si se toma como base este parámetro, los diferentes clones se pueden zonificar de la siguiente manera:

2.1.3.1 Clon Hartón: Pertenece al subgrupo plátano, Musa AAB. Su nombre vulgar es "Hartón", que es un “falso cuerno”. Genéticamente es más estable que el "Dominico-Hartón". Este cultivar expresa su máximo potencial de rendimiento a nivel del mar pero se puede sembrar sin mayores problemas hasta los 1000 msnm a partir de esta altitud se presentan problemas de mercado, debido a que el tamaño del racimo no puede competir con los clones “Dominico” y “Dominico-Hartón”. La duración del ciclo vegetativo varía entre 10 y 12 meses a 2000 msnm y de 14 a 15 meses a 1000 msnm. El pseudotallo es el más alto del subgrupo plátano, alcanza una altura promedio de 3.78 m y un diámetro de 18 cm, medido a un metro de la superficie del suelo en el momento de aparecer la inflorescencia. (FEDECAFE, 2000).

2.1.3.2 Clon Dominico–Hartón: este clon pertenece al subgrupo plátano, Musa AAB. Su nombre vulgar en el país corresponde a “Dominico-Hartón” que en otros países de América Latina corresponde a “Macho x Hembra”, “Maricongo” o “Bastard”. Es un material bastante inestable, que de acuerdo a la altitud de siembra muestra el efecto de la interacción genotipo-ambiente sobre el fenotipo de la planta y su racimo. Es considerado como un cultivar intermedio entre el “Dominico” y el “Hartón”. (FEDECAFE, 2000).

Este clon se puede cultivar sin que se afecte el tamaño del racimo y la calidad de la fruta, desde el nivel del mar hasta los 1500 m de altura. A partir de esta latitud, su explotación afronta problemas de comercialización, relacionados con el

rendimiento y la calidad de la producción. La duración del ciclo vegetativo se incrementa con la altitud de siembra en una forma directa, la cual es de 10 a 12 meses a 2000 msnm y pasa de los 16 a los 18 meses a 1350 msnm. En cuanto a su rendimiento, este se conserva estable dentro de las altitudes de siembra especificadas. El racimo es coniforme, con frutos más grandes que los del “Dominico”, pero más pequeños que los del “Hartón”. (FEDECAFE, 2000).

2.1.3.3 Clon “Dominico”: Pertenece al subgrupo plátano, Musa AAB. Su nombre vulgar más común es el de “Dominico” o plátano “French platin”. Se puede cultivar en todos los pisos térmicos comprendidos entre el nivel del mar y los 2000 m de altitud, con temperaturas promedias máximas de 29°C y mínimas de 19°C. (FEDECAFE, 2000).

La duración del ciclo vegetativo se incrementa en proporción directa con la altitud, varía de 10 a 12 meses a 1800 msnm y alrededor de 24 y más meses a los 2000 msnm. Por el contrario, su potencial de rendimiento está en relación inversa con la altitud, de tal manera que a mayor altitud corresponde un racimo de menor tamaño y peso (la calidad de la pulpa se puede tornar dura o “paluda”). Este fenómeno se conoce como “pasma”, el cual es causado por el frío, cuando se cultiva por encima de 1500 msnm. El clima cálido contribuye a un buen desprendimiento de la cascara para el procesamiento (Ministerio agricultura, 2007). Por otra parte, la epidermis es más oscura y menos tersa, esta apariencia es bien conocida por los intermediarios para disminuir el precio del producto. Sin embargo, cuando no se presenta el “pasma” y se presenta maduración normal, este cultivar recibe el nombre de plátano miel, debido a su gran contenido de azúcares. (FEDECAFE, 2000).

2.1.3.4 Clones “Cachaco”, “Pelipita” y Africa: el comportamiento de estos clones respecto a altitudes de siembra es muy similar al que presenta el cultivar “Dominico”, de tal manera que se pueden cultivar desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm. Muestran un buen potencial de rendimiento hasta los 1300 msnm, a partir de los cuales registran también una reducción en el tamaño del racimo y por ende del peso, el cual en el caso del clon “Pelipita” bajo condiciones óptimas puede superar los 50 kg. En cuanto a la duración del ciclo vegetativo, éste se puede incrementar en un mes respecto a los otros clones; sin embargo, una vez que se efectúa el corte del primer ciclo, se presenta una reducción del tiempo requerido para los ciclos sucesivos, superior a cualquier otro clon de plátano. (FEDECAFE, 2000).

A continuación se muestran algunas características de tres variedades de plátano cultivadas en zona de Caldoño, departamento del Cauca:

Tabla 2. Comparación de tres variedades de plátano cultivadas en zona de Caldono, Cauca.

Variedad	Altura planta	Peso racimo	Peso dedo	Duración ciclo
Dominico	3.7 a 4.7 mt	22 a 30 Kg	270 gr	15 a 18 meses
Dominico Hartón	3.5 a 4 mt	15 a 25 Kg	295 gr	15 a 18 meses
África	3.5 a 4 mt	10 a 12 Kg	400 a 600 gr	15 a 16 meses

Fuente: Cartilla de divulgación SENA-CIPASLA-PRONATA, Febrero de 2001.

**2.1.4 Propagación.** La multiplicación de las variedades de plátano se realiza casi exclusivamente por vástagos que la planta produce en abundancia cuando es adulta. En condiciones normales de cultivo conviene cortar los brotes a 1 m de altura, cortando también las hojas, y se plantan en el terreno de asiento, a 3 m de distancia por todos lados. En dos o tres semanas los tallos emiten raíces y empiezan a aparecer las nuevas hojas. (SENA, 2002)

Según Corpoica (2002), en los últimos años el tema relacionado con la propagación ha registrado avances, que mejoran la eficiencia en calidad productiva y sanitaria, y racionalizan los costos. Las investigaciones han demostrado que se pueden sembrar diferentes tamaños de semilla, desde brotes muy pequeños, 30 a 40 g como es el caso de la semilla *in vitro*, o rebrotes de 100 a 300 g, hasta colinos de 10 kg, encontrándose que el tamaño y calidad del racimo no se afectan, influyendo de manera mínima en el ciclo vegetativo.

Técnicas de producción de semilla vegetativa de plátanos descritos por el manual técnico de CORPOICA, 2002 se citan a continuación:

2.1.4.1 Técnica tradicional. Semilla convencional o colino aguja producida naturalmente, que el agricultor recoge de cualquier plantación, en la mayoría de los casos sin selección por calidad y sanidad, con pesos mayores a un kilo.

2.1.4.2 Técnica Baker. Semilla inducida por la remoción de yaguas o calcetas, con aporques y aplicación de materia orgánica para estimular yemas latentes. Con esta técnica se producen entre 12 y 15 semilla.

2.1.4.3 Técnica Halmiton. Esta semilla se produce eliminando la dominancia apical de la planta madre, después de que esta ha cumplido 6 meses de edad (16 a 20

hojas), y fertilizando con materia orgánica para estimular el brote de colinos. Se produce un promedio de 13 colinos por sitio.

2.1.4.4 Técnica *In vitro*. De cormos o inflorescencias de plantas madres seleccionadas, se producen plántulas en el laboratorio especializado. Las plántulas nacen libres de plagas y enfermedades, pero tiene un alto costo inicial y requieren un manejo cuidadoso en su etapa de endurecimiento en bolsa. Se pueden producir hasta 250 semillas por yema seleccionada.

2.1.4.5 Técnica de “inducción de brotes”. Consiste en la integración de los conceptos de Hamilton, la metodología y manejo de semilla *in vitro*, así como los conocimientos sobre la potencialidad de formación de yemas que tiene un rizoma de plátano.

**2.1.5 Establecimiento.** Los estudios han demostrado que las condiciones de la Zona Cafetera, son adecuadas para el cultivo del plátano, hasta aproximadamente los 2000 msnm. La temperatura ideal para su producción está por encima de los 18°C, siendo la más óptima 27°C. Para las condiciones ecológicas de Colombia, el periodo vegetativo se prolonga 10 días más, por cada 100 msnm.

El plátano tiene un mejor comportamiento productivo cuando se cuenta con suelos de textura franco a franco arcilloso con medios a altos contenidos de materia orgánica, ya que estos le permiten un buen desarrollo de las raíces, retienen humedad y no se encharcan con facilidad.

Corpoica, teniendo en cuenta la gran demanda de semilla para el establecimiento de nuevos cultivos, especialmente en altas densidades y en consideración al riesgo (peligro), que su movilización conlleva en la diseminación de enfermedades y plagas, ha diseñado un arreglo denominado “doble propósito” que consiste en la producción de plátano y semilla durante el primer ciclo. El arreglo consiste en hacer un trazado de 3.5 a 4.0 m entre surcos y 2 m entre sitio, colocando dos colinos a plantas por sitio en huecos individuales separados entre sí por 40 cm.

Con este trazo se puede obtener una población de 2500 a 2860 plantas/ha para el primer ciclo. Así se optimiza en cantidad y calidad la producción de plátano durante el primer ciclo; permitiendo para el segundo ciclo, una regulación de la población que se puede reducir hasta un 50% de la población original, al eliminar una línea de plantas de cada surco doble. Como una ventaja adicional se tiene que este arreglo permite el establecimiento de otros cultivos en el surco amplio.

Se debe tener en cuenta que si se incrementa la densidad de siembra se eleva el rendimiento bruto, aunque disminuye el número de dedos por mano y racimo, hay un menor peso del racimo y más lentitud en la maduración, por tanto una mayor densidad se debe compensar con una mayor fertilización y un mejor manejo en general. (Cuello, 2002).

**2.1.6 Fertilizaciones.** Las primeras fases de crecimiento de las plantas son decisivas para el desarrollo futuro, por tanto es recomendable en el momento de la siembra utilizar un fertilizante rico en fósforo. Cuando no haya sido posible la fertilización inicial, la primera fertilización se hará cuando la planta tenga entre 3 - 5 semanas. Se recomienda abonar al pie que distribuir el abono por todo el terreno, ya que esta planta extiende poco las raíces.

En condiciones tropicales, los compuestos nitrogenados se lavan rápidamente, por tanto se recomienda fraccionar la aplicación de este elemento a lo largo del ciclo vegetativo. A los dos meses aplicar urea o nitrato amónico y repetir a los 3 y 4 meses. Al quinto mes se debe hacer una aplicación de un fertilizante rico en potasio, por ser uno de los elementos más importantes para la fructificación del cultivo.

El uso de abonado orgánico es adecuado en este cultivo no sólo porque mejora las condiciones físicas del suelo, sino porque aporta elementos nutritivos. Entre los efectos favorables del uso de materia orgánica, está el mejoramiento de la estructura del suelo, un mayor ligamiento de las partículas del suelo y el aumento de la capacidad de intercambio (Amezquita, 2000).

**2.1.7 Aprovechamiento de agua.** La platanera sólo puede aprovechar el agua del suelo cuando tiene a su disposición suficiente cantidad de aire. Por tanto la cantidad de agua y de aire en el suelo deben estar en cierto equilibrio para obtener un alto rendimiento en el cultivo. En verano las necesidades hídricas alcanzan aproximadamente unos 100 m<sup>3</sup> de agua por semana. Los riegos se reducen cuando los frutos están próximos a la madurez.

El cultivo de plátano requiere de lluvias bien distribuidas durante el año, con fluctuaciones entre 1800 y 2500 mm anuales. El plátano es una planta umbrófila que nunca cierra totalmente sus estomas, motivando que las pérdidas de agua por transpiración sean altas, perdiendo hasta 26 litros de agua en un día soleado y 17 litros en un día semicubierto. La experimentación ha corroborado que al implementar una sombra regulada con árboles maderables, se reduce la transpiración evita la formación de rocío, disminuye la severidad de la Sigatoka y

no se afecta significativamente el peso del racimo. El único efecto significativo es que se incrementan los días a cosecha, dado que la temperatura bajo sombra es menor, en la región cafetera bajo sombra moderada el ciclo se incrementa entre 30 a 45 días. (Belalcazar, Cayón1998)

Un buen sistema de drenaje aumenta la producción y la disminución de la incidencia de plagas y enfermedades. Se recomienda realizar el drenaje, cuando la capa de agua esté a menos de 40 – 60 cm. de la superficie, aunque sea temporalmente (Ecoguias, 1992).

Las consecuencias de la sequía son las obstrucciones florales y foliar. La primera dificulta la salida de la inflorescencia dando por resultado, racimos torcidos y entrenudos muy cortos en el raquis que impiden el enderezamiento de los frutos. La obstrucción foliar provoca problemas en el desarrollo de las hojas. (Ecoguias, 1992).

Estudios realizados por Cayón-G. *et al.*, (1998), bajo condiciones controladas, para evaluar los efectos del estrés hídrico y la humedad relativa, mostraron que las tasas de intercambio gaseoso de las hojas de plátano Dominico-Hartón tienen una gran correlación con el déficit hídrico en el suelo y con la humedad relativa del ambiente.

En las plantas sometidas a estrés hídrico, las tasas de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática decrecieron como respuesta al déficit de agua. La tasa de fotosíntesis fue mayor en presencia de humedad relativa media, presentando una reducción aproximada de 50% cuando ésta aumentó o disminuyó; la transpiración y la conductancia fueron altas con humedad relativa baja, disminuyendo paulatinamente a medida que la humedad del aire aumentó. La tendencia de las plantas de plátano a reducir la transpiración bajo condiciones de estrés hídrico, puede ser el indicio de un mecanismo de resistencia a la sequía, asociado a otros que la planta posee, para economizar agua, ya que ésta especie presenta una gran superficie transpirante. (Tai 1977, Robinson y Bower 1988).

**2.1.8 Cosecha.** Consiste en separar días antes, los racimos de las plantas madres, con el fin de preservar la calidad de los frutos y prolongar su vida útil. Se considera que el racimo de plátano está desarrollado totalmente entre los 70 a 100 días después de aparecer la flor. La edad de cosecha está determinada por el destino final del producto, ya sea para el autoconsumo o para comercialización.

Los racimos se cortan cuando han alcanzado su completo desarrollo y cuando empiezan a amarillear y los respectivos ángulos longitudinales han adquirido cierta convexidad. Pero con frecuencia, y especialmente en invierno, se anticipa la recolección y se dejan madurar los frutos suspendiéndolos en un local cerrado, seco y cálido, conservado en la oscuridad. (Corpoica, 2006).

**2.1.9 Empaque.** En la producción del plátano el empaque se usa predominantemente durante el cultivo y la comercialización del producto. En este último caso, se utilizan discrecionalmente diferentes materiales para el empaques que van desde plásticos, cartón, papeles encerados, etc., que busca la conservación y la sanidad del producto.

En el cultivo el racimo es cubierto para evitar la acción de insectos, aves y en general proteger la inflorescencia y el fruto. Este material es desechado en el sitio de cosecha ocasionado efectos negativos en los suelos.

En el empaque del producto se seleccionan los frutos de acuerdo a su tamaño y apariencia externa; esta clasificación se realiza basada en la norma de calidad 1190 de ICONTEC y la norma del CCI. Existen diferentes tipos según, los mercados de destino, uno de los métodos más utilizados es la canastilla plástica con una capacidad de 18 a 22 kg de peso, con la ventaja de ser resistente al transporte, lavable, reutilizable, permitiendo el estribamiento; y la desventaja de que su retorno es costoso, con el riesgo de pérdida y no es biodegradable

## **2.2 EL SISTEMA SUELO**

El suelo es un cuerpo natural que forma la parte superior de la corteza terrestre sirve como medio para el anclaje y desarrollo de las plantas; es el resultado de la interacción de factores, procesos y transformaciones. Siendo un depósito de macro y microelementos minerales; si un suelo es fértil, es decir tiene la suficiente capacidad para suministrar nutrientes, las plantas tendrán un buen crecimiento y desarrollo.

*"El suelo no es un sistema estático si no que está cambiando continuamente por efectos de diferentes reacciones químicas, biológicas y por la constante actividad de los microorganismos". (Cobo, 2003)*

Es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, equilibrio ambiental para conservar sus características y no llegar a procesos de degradación de los suelo. Es un elemento de enlace entre los factores bióticos y abióticos y se le considera un hábitat para el desarrollo de las plantas aquí se llevan a cabo todas las labores productivas del hombre de ahí la importancia de sus conservación (FAO, 1998).

Los suelos se forman por la combinación de cinco factores interactivos: material parental, clima, topografía, organismos vivos y tiempo. Constan de cuatro grandes componentes: materia mineral, materia orgánica, agua y aire; la composición volumétrica aproximada es de 45, 5, 25 y 25%, respectivamente. Burbano (1989) menciona que los factores genéticos, ambientales biológicos y topografía interactúan a través del tiempo dando un producto diferente al material que lo origino, con diversas propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas.

La proporción de los componentes del suelo-materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire) determinan una serie de características denominadas propiedades físicas o mecánicas del suelo, tales como; textura, estructura, consistencia, densidad aireación, temperatura y color. Estas determinan el movimiento del agua y los gases, la dinámica microbiana, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radical (Jaramillo, 2002).

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y consiste en la capacidad de poder suministrar las condiciones necesarias para el adecuado desarrollo y crecimiento de las plantas (Malago y Pulido, 1995). Igualmente la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas ya que el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos; por ejemplo se puede tener un suelo fértil que dadas temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas, entonces es un suelo fértil, no productivo (León, 2001).

La fertilidad de un suelo depende de varios factores como disponibilidad y calidad del agua, el espesor del suelo útil refiriéndose a los horizontes A y B, la cantidad de materia orgánica disponible, los organismos vivos del suelo, la capacidad de almacenar las sustancias nutritivas contenidas en el agua (macro y micro nutrientes) y las reacciones químicas del suelo o el pH. (Bolaños, 2002)

**2.2.1 Tipos de Suelos.** Actualmente existe una fuerte tendencia a utilizar dos clasificaciones que pueden ser calificadas como internacionales, estas son la Soil Taxonomy, presentada por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos, y la desarrollada por la FAO para la obtención de un mapa de suelos a nivel mundial. Las clasificaciones de carácter nacional están siendo abandonadas o utilizadas con carácter complementario de estas dos clasificaciones globales. (FAO 1998).

El sistema americano se ha vuelto usual en todo el continente y en África, en otros países rigen clasificaciones diferentes basadas en distintos criterios. Un intento de unificación de taxonomías es el que se hizo para el mapa mundial de suelos de la FAO. Esta clasificación se basa también en los horizontes diagnósticos, propiedades diagnósticas, materiales diagnósticos, grupos de suelos y unidades de suelos con definiciones similares a las de la taxonomía americana, pero retomando nombres de diversos idiomas. (FAO, 1998)

Los suelos ubicados en la zona de estudio son equivalentes a andisoles para el Soil Taxonomic (USD, 1998) o andosoles, para el sistema FAO. Se caracterizan por tener minerales arcillosos de bajo grado de ordenamiento por complejos de aluminio-humus producto de la meteorización volcánica y contienen alta proporción de alófanos en fracción arcillosa, así, como Imogolita, Ópalo y Ferrihidrita.

Los suelos que presentan propiedades ándicas deben contener menos del 25% de carbono orgánico, además de un alto porcentaje de aluminio y hierro total, una densidad igual o menor  $0.9 \text{ g/cm}^3$ , un 85% o más de retención de fosfatos. Estos suelos presentan estructuras bien definidas, alto porcentaje de retención de humedad, baja densidad aparente, pH ácido, baja relación  $\text{SiO}_2/\text{AlO}_2$ , alta capacidad de intercambio catiónico dependiente del pH, bajo porcentaje de saturación de cationes intercambiables; además presenta altos contenidos de materia orgánica en diferentes grados de humificación, en directa relación con la pluviometría y temperatura propia de cada zona de producción. (Malagón y Pulido, 1995). En Colombia, los andisoles están ampliamente distribuidos en la región andina del país, especialmente en la cordillera central, aunque en las cordilleras occidental y oriental se presentan en menor proporción. Los andisoles son suelos jóvenes de laderas montañosas relativamente más fértiles.

De acuerdo a FEDECAFE (2000), los suelos de la meseta de Popayán pertenecen al ecotopo cafetero 218A. Por definición, ecotopo "es un espacio vital delimitado en el que reinan unas condiciones ambientales similares". En el caso colombiano, el ecotopo cafetero es una región agroecológica delimitada geográficamente, teniendo en cuenta condiciones predominantes de clima, suelo y relieve donde se

obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café; por tanto, debería tener un sistema específico de uso y manejo.

El ecotopo 218A comprende la zona cafetera localizado en la Meseta de Popayán, específicamente en la Cuenca del Río Cauca, subcuencas de los ríos Piendamó, Dinde, Palacé y Robles, en el municipio de Popayán tenemos a Timbio, Piendamó, Totoró, Morales, Cajibío, Caldono y el Tambo. Geológicamente se conocen como formación Popayán, esencialmente de origen volcánico, con presencia de gran cantidad de material sedimentario intercalado, clasificado como Melanudans (suelos derivados de cenizas volcánicas, de color oscuro, con régimen de humedad údico y presencia de horizontes melánicos). Se diferencian por el tipo de grano y textura, que varía entre franco arenosa y franco arcillosa, son de buenas condiciones físicas, de fertilidad natural baja, topografía ondulada, pendientes menores del 50% y de baja susceptibilidad de erosión (FEDECAFE, 1998).

Estos materiales denominados originalmente amorfos, se forman durante el intemperismo y desgaste de los materiales parentales, procesos dominantes en estos suelos, con un volumen significativo de vidrio, aunque el vidrio volcánico es un material común en todos los andisoles. La relación Carbono-Nitrógeno es mayor que en otros suelos minerales y el nitrógeno orgánico es retenido más que en otros suelos, el calcio cambiante inferior a 1 meq/100g de suelo, potasio cambiante ente 0.2 y 0.8 meq/100g de suelo, alta fijación de fósforo aunque esta capacidad varía con el tipo de arcilla presente, que parece estar determinada por la altura a la cual se encuentran los depósitos de cenizas que formaron el suelo. (Espinosa, 2003).

**2.2.3 Propiedades del suelo.** El suelo presenta propiedades físicas o mecánicas, químicas y biológicas que le confieren características especiales, están relacionadas y son la base para su clasificación.

**2.2.3.1 Propiedades físicas.** La textura que es la relación existente entre los contenidos de las diferentes fracciones granulométricas que constituyen el suelo. Esta tiene influencia en la aeración del terreno, la permeabilidad, la capacidad de retención del agua. Existen cuatro tipos de clasificaciones de acuerdo con la textura: textura arcillosa (dan suelos plásticos y difíciles de trabajar que se conocen como suelos pesados o fuertes), textura limosa, (son suelos que se apelmazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua), textura arenosa (da suelos ligeros, dada su escasa plasticidad y su baja dureza, que los hace muy fáciles de trabajar, texturas francas o equilibradas (al tener un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables).

La textura puede afectar la facilidad de laboreo del terreno, susceptibilidad a la erosión, la facilidad de germinación de las semillas, adecuada penetración de las raíces, contenido y retención de los nutrientes, el contenido de materia orgánica, la aireación, contenido, retención y penetración del agua (Sánchez, 1990).

La estructura es la forma en que se asocian las partículas elementales del suelo para formar agregados. Es una consecuencia del estado de los coloides del suelo, cuando están floculados forman agregados más o menos estables. Afecta a un numeroso grupo de características físicas del suelo pero sobre todo controla la porosidad del mismo. Esta tiene gran valor porque nos incide en otras características del suelo como son actividad de los microorganismos, permeabilidad, aireación, profundidad (Cobo, 2003). La importancia de la estructura está dada por su efecto en los procesos de intercambio gaseoso (respiración radicular), capacitación, infiltración y conservación del agua lluvia y movimiento de nutrientes solubles en agua.

La densidad se define como la masa por unidad de volumen. Densidad real se designa de esta forma a la densidad de la fase sólida es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de  $2.65 \text{ g/cm}^3$ . La densidad aparente, refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. La densidad aparente se ve afectada por el contenido de materia orgánica a mayor contenido de materia orgánica menor densidad y a mayor profundidad del suelo mayor densidad. (Sánchez, 1990).

La porosidad viene representada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total. La porosidad depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. Cuanto más gruesos son los elementos de la textura mayores son los huecos entre ellos, salvo si las partículas más finas se colocan dentro de esos huecos. La materia orgánica contribuye a aumentar sensiblemente la porosidad. Son por tanto los suelos coloidales los que tienen la mayor porosidad (ICA, 2007).

La permeabilidad es la facilidad que tiene el suelo para dejarse penetrar por los fluidos. Los suelos con estructuras estables son en general permeables, mientras que los suelos con estructuras inestables o degradadas, son poco permeables, sobre todo cuando la composición física del suelo, su granulometría, está mal equilibrada (ICA, 2007).

La conductividad térmica es el comportamiento térmico de un suelo con su calor específico y su conductividad térmica, pero para que se produzca un calentamiento de los diversos horizontes edáficos, es necesario que la radiación solar llegue hasta la superficie y penetre en ella. La conductividad térmica está determinada por su composición mineral, contenido de materia orgánica, porosidad y humedad (FEDECAFE, 1998)

2.2.3.2 Propiedades químicas. La acidez, capacidad de intercambio catiónico, alcalinidad y salinidad, son propiedades químicas, que permiten conocer ciertas características de los suelos cuando ocurren cambios bioquímicos o reacciones que alteran su composición e influyen en fertilidad, estas es determinada mediante el contenido de macro nutrientes (N, P, Ca, Mg, K, S) y micro nutrientes (Fe, Mn, Co, Zn, B, Mo, Cl) disponibles en el suelo para las plantas es posible tener un acercamiento parcial a la fertilidad del suelo (Rodríguez, 2000).

Se estima que aproximadamente del 97% al 98% del nitrógeno aprovechable por las plantas proviene de la materia orgánica y está tiene que ser descompuesta por los microorganismos para producir amonio ( $\text{NH}_4$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3$ ) que son la forma más usada por las plantas. A pH más bajo la actividad de los microorganismos se restringe seriamente. (León, 2001).

2.2.3.3 Propiedades biológicas: la respiración edáfica, biomasa, microbiana, actividades enzimáticas, población de macro y microorganismos, entre otras, son propiedades biológicas y bioquímicas que permiten establecer la dinámica del suelo, relacionada con la descomposición de materiales, ciclaje de nutrientes, gasto y reserva de nutrientes como C, N, P entre otros (Burbano, 1989). Algunas de ellas han demostrado ser sensibles y con gran potencialidad para estimar al calidad biológica del suelo, por ser de rápida respuesta a los cambios sensibles al estrés ambiental (Tello y Bello, 1994).

La biomasa microbiana C/N (BMS) es un agente catabólico de procesos biogeoquímicos y también un reservorio de energía y nutrientes muy susceptible a cambios de acuerdo al manejo agronómico y las características físico-químicas del medio y determina el equilibrio de la productividad del ecosistema, ya que es un medio de transformación de todos los materiales orgánicos del suelo. La estimación de este parámetro contribuye al conocimiento del estado de la calidad y fertilidad del suelo y al mantenimiento de esta característica en el tiempo.

Se considera como el componente más activo del suelo, forma parte del “pool” de la materia orgánica y cumple una función muy importante en el humus, ya que

intervienen en los procesos de mineralización de nutrientes, una vez muertos ponen a disposición de otros microorganismos y de las plantas los nutrientes contenidos en los restos microbianos, que también participan en la movilización. (Paz, 2001).

Así, los ciclos de algunos nutrientes mayoritarios, como el carbono demuestran que la biomasa microbiana es la clave en la dinámica de los nutrientes esenciales en el sistema edáfico; por ello, algunos autores como García (2000), Sanchez (2006) y Paz (2006), afirman que la biomasa microbiana y su actividad en el suelo puede ser empleada como índice de comparación entre sistemas naturales o como indicador de las variaciones sufridas en el equilibrio de un suelo debido a la presencia de agentes nocivos o su manejo productivo. Ellos hacen referencia a que los parámetros microbiológicos, y por tanto bioquímicos, sirven para indicar posibles cambios netos en el equilibrio del suelo que no podrían identificarse con métodos tradicionales.

**2.2.4 La calidad del suelo.** El uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan principalmente el grado y la dirección de los cambios en su calidad en tiempo y espacio (Quiroga y Funaro, 2004).

Un paso fundamental para poder cuantificar el costo ambiental de las unidades de producción, es la utilización de indicadores de la calidad del suelo. Dentro de estos indicadores están incluidos aquellos que miden el estado de la condición física (Rollán *et al.*, 2004). Las propiedades hidráulicas de los suelos, entre ellas la velocidad de infiltración, se pueden utilizar como un buen indicador de la estabilidad estructural (Rossi, 2004).

La materia orgánica es un indicador de la calidad del suelo, ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno (Gregorich *et al.*, 1984). Numerosos estudios coinciden en que la materia orgánica, es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Funaro, 2004).

2.2.4.1 Indicadores de la calidad del suelo. Materia orgánica: la materia orgánica es uno de los componentes del suelo más complejos que existen en la naturaleza, complejidad que se refleja en su composición química. Por ello, se dice que la materia orgánica del suelo, contiene probablemente la mayor parte, sino todos los compuestos orgánicos que se presentan naturalmente, porque se origina de los productos metabólicos y los tejidos de las plantas, animales y microorganismos.

La materia orgánica tiene un profundo efecto sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de la planta, además sirve como fuente de N, P y S a través de su mineralización. Burbano (1989) La materia orgánica tiene funciones muy importantes en el suelo y en general, en el desarrollo de una agricultura acorde con las necesidades de preservar el medio ambiente y a la vez hacerla más productiva. Para ello es necesario partir del conocimiento de los procesos que tienen lugar en el suelo (ciclos de nutrientes) y de la actividad biológica del mismo, con el fin de establecer un control de la nutrición, del riego y del lavado de elementos potencialmente contaminantes. A continuación se cita el efecto de la materia orgánica sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo:

En cuanto a los efectos físicos: disminuye la densidad aparente del suelo (por tener una menor densidad que la materia mineral), contribuye a la estabilidad de los agregados, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua. Debido al efecto físico del tamaño de las partículas, la materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua de suelos arenosos y aumenta la capacidad de aireación de suelos arcillosos, en todos los suelos en general, favorece la estructura agregada que limita el arrastre de partículas de suelo, canalizando a la vez el paso del agua a través del mismo. Además, los residuos orgánicos fácilmente descomponibles dan lugar a la síntesis de compuestos orgánicos complejos que actúan ligando las partículas del suelo favoreciendo la formación de agregados, lo que repercute en una mejora de la aireación y de la retención de agua. La materia orgánica tiene también efectos importantes sobre la temperatura del suelo. La materia orgánica tiene una conductividad térmica más baja que la materia mineral, mientras que las diferencias en la capacidad calorífica son bajas porque dependen del contenido de humedad. Al tener una conductividad térmica baja, la materia orgánica mantiene las temperaturas constantes en el tiempo, reduciéndose las oscilaciones térmicas. Al tener un color más oscuro que el suelo mineral disminuye la radiación reflejada, calentándose más. (León, 2001)

En cuanto a los efectos químicos: la materia orgánica tiene un papel importante en la mejora de la disponibilidad de micronutrientes (principalmente hierro, manganeso, zinc y cobre) para las plantas así como en la reducción de los efectos tóxicos de los cationes libres. Muchos metales que se precipitarían en suelos en condiciones normales, se encuentran mantenidos en la solución del suelo en forma quelatada. Es probable que estos micronutrientes sean transportados hacia las raíces de las plantas en forma de quelatos complejos solubles. La materia orgánica mejora la nutrición en fósforo favoreciendo el desarrollo de microorganismos que actúan sobre los fosfatos. Es posible que la formación de complejos arcillo-húmicos o la quelatación contribuyan a solubilizar los fosfatos inorgánicos insolubles. (Dattari, 2004).

En cuanto a los efectos biológicos: la materia orgánica sirve de fuente de energía para los microorganismos del suelo. Favorece la aparición de lombrices que contribuyen a estructurar el suelo. Algunos materiales orgánicos presentan actividad supresora frente a hongos y se utilizan para combatir hongos patógenos.

La supresión puede ser biótica o abiótica y puede deberse a diversos factores, entre ellos, factores físicos relacionados con la disponibilidad de oxígeno y el drenaje, un pH inadecuado al desarrollo de los microorganismos patógenos, presencia o ausencia de elementos como el nitrógeno, etc. (Dattari, 2004).

Algunos productos derivados de la descomposición de la materia orgánica, como los derivados fenólicos, afectan el balance hormonal inhibiendo o favoreciendo la actividad de las hormonas vegetales. Algunos materiales como las cortezas, contienen sustancias que inhiben el crecimiento y que se eliminan generalmente mediante el compostaje. Existen también algunas hormonas ligadas a la materia orgánica, como las auxinas, o el etileno que se libera en condiciones reductoras (por ejemplo, por exceso de agua). La materia orgánica puede adsorber reguladores de crecimiento que se pueden añadir de forma externa. También tiene un papel importante en la absorción de pesticidas aplicados al suelo.

En la mineralización, los residuos sufren un proceso de degradación hasta los componentes elementales de las proteínas, carbohidratos y otros, los productos resultantes pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis y polimerización dando lugar a nuevos agregados químicos que reciben el nombre de sustancias húmicas con características específicas; este proceso recibe el nombre de humificación (Gallardo, 2000).

Hay una gran diferencia entre la materia orgánica descomponible y la materia orgánica humificada. El humus es un producto de descomposición parcial de la materia orgánica fresca con posterior síntesis. Cuando se ha formado en un suelo con pH de 5.6 es una sustancia agregadora de grumos. Cuando se descompone, se rompe las uniones orgánicas entre las partículas del suelo y, por lo tanto, la estructura biológica decae al deshacerse los agregados mayores. El suelo se torna amorfo y hay gran pérdida de gran parte de la productividad (Shibu; Leffelaar and Keulen, 2006).

Los diferentes grupos de materia orgánica en los suelos son influenciados por distintos factores. Las partículas de materia orgánica libre y la biomasa microbiana de los suelos son controladas por el aporte de residuos, manejo de residuos de cultivos o cobertura del suelo y el clima. La agregación del suelo, la textura y la

mineralogía controlan la materia orgánica en macroagregados y por lo tanto, la labranza tiene un gran efecto sobre el tamaño de esos reservorios. Los otros reservorios son menos afectados por los factores agronómicos pero lo son sobre todo por factores pedológicos (microagregación, composición de la arcilla) (Gallardo, 2000; Shibu, Leffelaar and Keulen ,2006).

La materia orgánica es un indicador clave de calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (por ejemplo producción y economía) como en sus funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire. Es la principal determinante de la actividad biológica de este compartimiento ambiental. La cantidad, diversidad y actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera, tiene influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. Existe una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica y la actividad enzimática, estando ambos parámetros influenciados por los cultivos y el sistema de laboreo del suelo.

Dentro del sistema enzimático del suelo, las fosfatasas constituyen un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de esteres y anhídridos del ácido fosfóricos y su importancia radica en la mineralización del fosfato orgánico para su asimilación por las plantas, hecho de especial trascendencia en suelos tropicales donde la deficiencia de fósforo constituye uno de los factores restrictivos para la productividad de los cultivos (Robert, 2002).

2.2.4.2 Los microorganismos del suelo: los grupos de microorganismos de mayor abundancia en el suelo son bacterias, actinomicetos y hongos, los cuales predominan sobre las algas, protozoos y nematodos. Constituyen comunidades estables es su estructura fundamental y en su equilibrio interno, proliferando en zona próximas a la raíz–rizosfera, entre 90% y 95% de todo el ciclaje de nutrientes, pasa a través de microorganismos.

Las bacterias que son microorganismos unicelulares de tamaño de 0,5 a 0,3  $\mu\text{m}$ , cubiertos con sustancias mucosas, juegan papel importante en la descomposición de materiales orgánicos y ciclaje de nutrientes. Según la morfología se pueden dividir en cocos, bacilos y espirilos. Por su abundancia en el suelo sobresalen los siguientes grupos: Pseudomonas, Arthrobacter, Chlostridium, Flavobacterium. Los géneros de bacterias más famosos en los suelos son los de: fijadoras de nitrógeno Azotobacter, Beijerinckia, Chlostridium, Rhizobium, Nitrificante, Nitrosomonas, Nitrobacter Las bacterias son capaces de transformar grandes cantidades de sustancias, y de manera muy intensa. En medios pobres en oxígeno, la mayoría

de las transformaciones allí se llevan gracias a su intervención. (Sánchez, *et al.*, 2000).

Actinomicetos son microorganismos que vienen a representar una transición entre bacterias y hongos. Forman micelios ramificados y poseen una estructura celular similar a las de las bacterias. Los géneros de actinomicetos más importantes del suelo son: *Streptomyces*, que sintetizan antibióticos *Nocardia* Frankia, que en algunas especies arbóreas fija nitrógeno. Los actinomicetos participan en la descomposición de la materia orgánica y en la humificación; algunos pueden ser patógenos vegetales. Son menos abundantes que las bacterias, pero su importancia radica en la producción de diferentes antibióticos (estreptomicina, aureomicina, terramicina entre otros) las poblaciones más altas de ellos se encuentran durante los últimos estados de descomposición de los minerales orgánicos (Burbano, 1989).

Los hongos, menos diversos y numerosos que las bacterias, son responsables de casi el 70% de biomasa microbiana en el suelo. Ellos, degradan moléculas complejas como la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidones y lignina. Forman micelios con sus hifas de 3 – 10  $\mu\text{m}$  de diámetro; suelen formar estructuras que liberan esporas. Entre los mohos, los siguientes géneros son de importancia en el suelo: *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* (algunos de estos también producen antibióticos). Algunos mohos se alimentan de protozoarios o de nematodos. (Nielsen, 2002)

Entre los hongos superiores están los basidiomicetos, de los cuales algunos géneros tienen la facultad de desdoblar la lignina: *Colibia* - *Marasmius*. Algunos géneros de zygomycetos, de ascomycetos y varios de basidiomycetos pueden realizar simbiosis con las raíces de plantas (micorrizas); otros pueden ser patógenos vegetales. (Nielsen, 2002)

Las algas son organismos autotróficos, en el suelo están representadas sobre todo por unicelulares o de forma filamentosa clorofíceas, de color verde cianofíceas, de color azul, diatomeas, de constitución silíceas. Actúan como pioneras habitando piedras y rocas, en parte en condición de simbiosis con hongos, es decir, como líquenes. Estos últimos pueden sobrevivir a condiciones muy adversas (por ejemplo, suelos desérticos). Algunas algas azules fijan nitrógeno, tal es el caso de la *Azolla*, de la *Anabaena* y de la *Nostoc*. La primera juega un papel importante en cultivos de arroz. (Mosquera, 2000).

Los protozoarios son organismos unicelulares que predominan en número. Se destacan los siguientes grupos: Rizópodos, entre ellos las amebas, Ciliados y Flagelados. Todos estos se alimentan de sustancias orgánicas en solución, detritus y bacterias. (Mosquera, 2000).

2.2.4.3 Importancia de los microorganismos como indicadores de la calidad del suelo: el término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo; promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible), atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental), favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997). Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el sustrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo. En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa (Parr, *et al.*, 1992).

En el pasado, este concepto fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación que se hacía entre tierras y suelo. Tierras de buena calidad eran aquéllas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión. Para clasificarlas se generaron sistemas basados en esas ideas (Doran y Parkin, 1994).

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (Doran y Parkin, 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter, 1997) y el estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo (Romig, 1995).

La calidad del suelo, ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó en la década anterior (Karlen *et al.*, 1997). Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. A pesar de su importancia, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad.

Otra definición sería entenderla como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productiva de

plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, sostener la salud humana y el hábitat, por consiguiente, la calidad y salud de este recurso determina la sostenibilidad de la agricultura, la calidad ambiental y como consecuencia la salud de plantas, animales y el hombre (Karlen *et al.*, 1997). Recientemente se ha incrementado el interés por encontrar la medida para desarrollar y preservar la calidad del suelo, con indicadores de suelos o salud del suelo dándole un manejo sostenible, sin embargo la dificultad radica que el suelo es una entidad dinámica con multiplicidad de procesos biológicos y geoquímicos que muestran una elevada heterogeneidad espacial y temporal y con mecanismos de control que cambian según la escala espacio-temporal.

Hünнемeyer *et al.*, (1997), establecieron que los indicadores deberían permitir: analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible, analizar los posibles impactos antes de una intervención, monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

2.2.4.4 Factores que afectan la actividad de los microorganismos: de acuerdo con Lynch (1983), la función que cumplen hongos y bacterias y su diversidad, la actividad de los microorganismos se ve afectada por factores como: temperatura, porosidad, humedad, concentración de gases, materia orgánica, acidez y alcalinidad.

La microbiota es muy importante en el dinámica del suelo, pero con prácticas intensivas de manejo agrícola como en los monocultivos, la labranza sobre pastoreo, fertilización y contaminantes como el plástico, afectan la calidad del suelo interfiriendo en el desarrollo normal de las poblaciones microbianas implicando bajo rendimiento y reducción en la producción de las plantas. (Benjumea, 1996; Castaño, 2000; Gómez; 2000; Rodríguez, 2000 y Paz, 2006).

La temperatura, regula las velocidades de reacción de los cambios biológicos y químicos que acurren en el suelo, estas pueden aumentar dos o tres veces por cada incremento de 10°C. Para la mayoría de los microorganismos del suelo la temperatura óptima es de 35°C, aunque pueden crecer bajo en rango amplio de temperatura. Los microorganismos del suelo que viven a temperatura bajas -0°C a 15°C- se denominan psicrófilos, los mesófilos se desarrollan a temperaturas medias 25 a 40°C y los termófilos viven por encima de 90°C (Mayea, 1989: Sánchez de P, 2000 y Paz, 2006).

La actividad de las plantas y la microbiana, son las principales responsables de la composición de los gases en el suelo, cuando disminuye la porosidad en profundidad, el intercambio de estos se hace más limitado, por lo tanto se aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> y disminuye el O<sub>2</sub> y se afecta la actividad microbiana. La distribución y tamaño de los poros en el suelo es importante ya que la mayoría de los microorganismos viven en poros menores de 20µm, por tanto su alteración también influye en su actividad (Dattary, 2004).

La humedad del suelo, limita actividad microbiana. Aquellos que presentan exceso de humedad son inhibidores de bacterias aeróbicas, predominantes en suelos aireados. En condiciones de anegamiento rara vez aparecen los actinomicetos, es el caso de las bacterias. El bajo suministro de agua también es condicionante, es el caso de las bacterias de suelos tropicales que soportan más bajo niveles de humedad que aquellas de la zona templada. La máxima actividad bacteriana está entre 0.03 – 3 bar de presión de aire (Burbano, 1989).

Amézquita (2000) citando a Linn y Duran (1984), menciona que el régimen óptimo de agua para los microorganismos se encuentra cuando alrededor del 60% del volumen de poros del suelo está lleno de agua. Cuando la humedad supera esta cifra, se llenan los poros menores de 20 µm y causan disminución en la actividad microbiana.

Paz (2006) citando a Siadegian, Rivera y Gómez (1997), menciona que ellos encontraron correlaciones positivas entre la actividad de los microorganismos con mayor volumen de poros y los agros ecosistemas con economía hídrica eficientes (guadales, bosques nativos y cafetales tradicionales), presentan mayor actividad.

La concentración y grado de aprovisionamiento de algunos gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>) en el aire son factores limitantes. El O<sub>2</sub>, se necesita para proceso de oxidación, el dióxido de carbono como fuentes de carbono para organismos autotróficos y quimioautotróficos y el N<sub>2</sub> para organismos fijadores de Nitrógeno. La aireación pobre favorece los procesos de reducción restringida al tiempo que limita la mineralización (Foth y Turk, 1981 citado por Paz en el 2006).

La materia orgánica en el suelo agrícola se relaciona con la mayoría de las propiedades del mismo: favorece la formación de estructuras (agregados), incrementa la capacidad de retención de agua, disminuye la densidad aparente mejora la porosidad y factores como la aireación y aumenta el drenaje. También, es fuente de nutrientes para las plantas y microorganismos, estimula la actividad de la biota del suelo y provee ambiente favorable para diversos procesos como la

fijación de N<sub>2</sub>, entre otros. Esto implica que un agotamiento de la materia orgánica causado por manejo inadecuado en sistemas de producción agrícola, afectará los procesos antes mencionados (Burbano, 1989, citado por Zapata, 2000; Gómez, 2000; Jaramillo, 2002; Paz *et al.*, 2006).

El manejo de los cultivos sin rotación, impide la llegada de nuevas fuentes de materia orgánica y biota asociada que se puede adicionar al suelo, de esta manera no se promueve el equilibrio entre organismos y se evita su proliferación (Primavesi 1984 citada por Rojas 2000, García 2002).

El grado de acidez y alcalinidad del suelo afecta en gran medida la vida microbiana. El pH del citoplasma microbiano se aproxima a la neutralidad por lo que la mayoría de microorganismos del suelo crecen y se desarrollan mejor a valores de pH cercanos a 7.0 o de lo contrario genera estrategias de adaptación a condiciones causantes de estrés. La activación enzimática microbiana se afecta con alta concentración de H<sup>+</sup>. El pH crítico para la mayoría de bacterias y ascomicetos está alrededor de 5.0 por debajo de este valor, muchos pueden disminuir su crecimiento, generalmente, la mayoría de las bacterias son menos tolerantes a las condiciones ácidas que los hongos (Burbano, 1989).

2.2.4.5 Algunos indicadores de actividad biológica en el suelo: la actividad biológica en el suelo se puede estimar a través de diferentes indicadores, que generen información de la dinámica de la materia orgánica en el suelo (entre ellos la actividad microbiana y la biomasa microbiana) y sobre la participación de microorganismos en procesos de agregación del suelo y absorción de nutrientes. (Paz, 2006).

La actividad microbiana, puede estimarse de diferentes maneras como: tasa de respiración (consumo de O<sub>2</sub> y emisión de CO<sub>2</sub>), biomasa microbiana, producción de ATP, biosíntesis de macromoléculas, producción y liberación de calor, transformaciones específicas como: amonificación, consumo de sustrato o acumulación de productos, actividad enzimática total o específica, tasa de mineralización de C, N, P, y S, dinámica de la materia orgánica y humus, densidad poblacional, biomasa, reacciones químicas específicas y observaciones microscópicas “in situ”, (Burbano, 1989; IGAC, 1990; Sánchez, 2000; Siquiera *et al.*, 1994 citado por Rojas, 2002)

Burbano (1989), menciona que la respiración es un indicador que se determina mediante la captura del CO<sub>2</sub> liberado en el suelo producto de la actividad microbiana. El CO<sub>2</sub> lo liberan los microorganismos al realizar funciones

metabólicas como la obtención de ATP. Mientras mayor sea la cantidad de gas liberado, más elevada es la actividad y viceversa. La ventaja de medir CO<sub>2</sub> y no O<sub>2</sub> es que el primero indica la actividad de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos (Araujo, 1999).

Las medidas de CO<sub>2</sub> son más sensibles debido a que la concentración atmosférica del CO<sub>2</sub> es solamente 0,035% contra 20% de O<sub>2</sub> (Paul y Clark, 1989). La liberación de CO<sub>2</sub> depende de la biomasa microbiana y de los factores que determinan las condiciones del ambiente del suelo, como estructura y porosidad, la presencia de oxígeno, rangos de temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes, entre otros (Burbano, 1989). La compactación y saturación de suelos disminuye la liberación de CO<sub>2</sub>, como también bajo pH (Swisher, 1999).

Cuando se captura el CO<sub>2</sub> directamente en el campo, se puede estimar la actividad biológica dada por la respiración de las raíces de la planta, de macroorganismo y microorganismos. Alta tasa de respiración indica un nivel elevado de actividad biológica y puede señalar la descomposición rápida de la materia orgánica y liberación de nutrientes, sin embargo, no siempre esta alta tasa refleja un estado saludable para el suelo puesto que puede afectar la formación de agregados, intercambio catiónico y retención de humedad entre otros (Swisher, 1999).

Sadegian, Rivera, y Gómez (1997) citados por Paz (2006), encontraron que la cantidad de dióxido de carbono liberado por los microorganismos del suelo, fue superior en guaduales y bosques, seguidos por cafetales tradicionales, en suelos francos a franco arenosos con contenido de materia orgánica que oscilan entre en 4,2 y 12,4%.

Yoshioka (2005), citada por Paz (2006), estimó la actividad microbiana en suelos con textura franco arcillosa limosa hasta franco arcillosa arenosa, sembrados en plátano bajo tres sistemas de manejo químico, tradicional y orgánico. Encontró valores de 774,3µg C-CO<sub>2</sub>/gss en suelos con manejo orgánico aunque sin diferencia significativa con los otros manejos y en cuanto a la profundidad obtuvo mayor actividad en los primeros 5cm del suelo (911,2µg C-CO<sub>2</sub>/gss).

La biomasa de carbono microbiano del suelo (BMS). Es la parte viva de la materia orgánica del suelo (bacterias, ascomicetos, hongos, protozoos, algas, nematodos y otros), constituyen la reserva de C, N, y demás nutrientes, fruto de las actividades anabólicas de los microorganismos que los inmovilizan en la medida

que forman sus estructuras celulares (Sánchez, 1996, citada por Rojas, 2002 y Paz, 2006).

Se han desarrollado métodos para estimar la actividad microbiana entre ellos: fumigación-incubación, fumigación y respiración inducida de sustrato y métodos de observación directa (Visser y Parkison, y Lynch, citados por Rojas, 2002).

La cantidad de carbono liberado como CO<sub>2</sub> (C respiración) puede ser relacionado con la biomasa de carbono (C microbiano), así: (C resp)/(C microb), para tener un cociente de CO<sub>2</sub> sugerido por Anderson y Domsch (1986), como parámetro cinético que indica que está ocurriendo en la actividad microbiana del suelo, tanto en ecosistemas maduros como en rehabilitación. (Rojas, 2002).

Cuando se estima el carbono de la biomasa microbiana permite calcular la contribución de este componente al contenido total de C del suelo (C org). (Anderson y Domsch, 1986, citados por Sánchez, 2002), han encontrado que del 2,3 al 4% del C orgánico, puede indicar pérdidas o acumulaciones de C. La medida de la biomasa microbiana se ve influenciada por las condiciones climáticas principalmente la precipitación y la evaporación (Anderson, 1993).

Cadena (1998) citados por Paz (2006), estimó la biomasa microbiana en suelos oxisoles de dos localidades del departamento del Cauca bajo diferentes sistemas de manejo. Observó, mayores contenidos en suelos sometidos a la labranza reducida seguidos por suelos con barbecho, leguminosas, pastos y gallinaza respectivamente. Demostró la influencia que ejerce el tipo de vegetación y materia orgánica sobre la biomasa microbiana.

Rojas (2002), citados por Paz (2006), evaluó la biomasa microbiana presentes en suelos sembrados con maracuyá bajo diferentes sistemas de manejo. Encontró a profundidad entre 0 y 15cm, mayor biomasa (233,3 µg C/gss) en suelos bajo condiciones de manejo agroecológico, y menor promedio (76,38 µg C/gss) en suelos con manejo convencional, evidenciándose la relación entre el tipo de manejo y la biomasa.

Yoshioka (2005), citados por Paz (2006), también estimó la biomasa microbiana en suelos sembrados en plátano bajo tres sistemas de manejo (químico, tradicional y orgánico) y en diferentes profundidades. Encontró mayor biomasa con manejo orgánico (945 µg C/gss), seguido de manejo tradicional (612,6 µg C/gss) y manejo químico (583,5 µg C/gss).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 UBICACIÓN**

La investigación, se desarrolló en la finca La Sultana propiedad de la Universidad del Cauca, municipio de Timbío (Cauca). La finca La Sultana se encuentra ubicada en la vereda Urubamba en el municipio de Timbío cuya altura promedia es 1780 msnm, 18°C de temperatura, precipitación de 2010 mm anuales, humedad relativa promedio de 78% y 1800 horas de brillo solar año. Posee suelos francos arenosos, derivados de cenizas volcánicas, con 15% de materia orgánica, pH de 5.2 y una saturación de aluminio de 30 a 40% y con suelos con buena permeabilidad. (Estación Meteorológica Manuel Mejía el Tambo Cauca, 2010).

#### **3.2 SELECCIÓN DE LOTES**

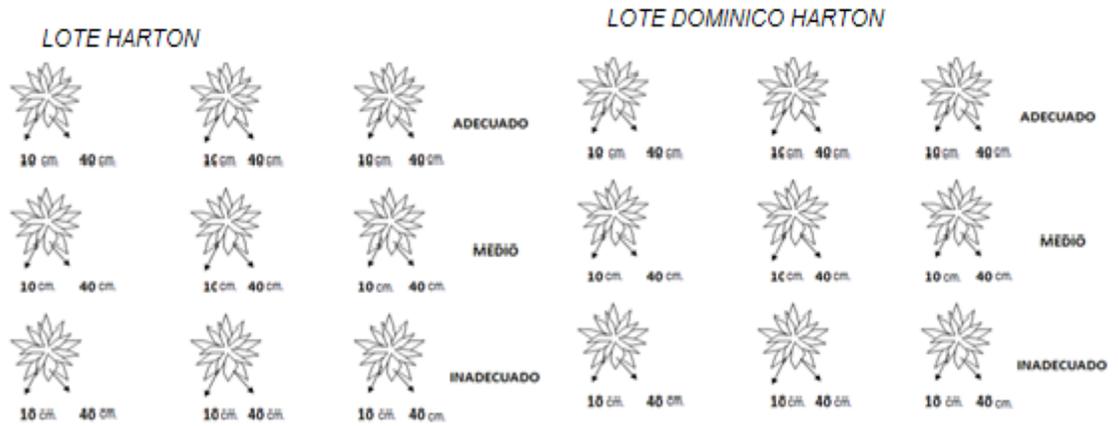
En la finca La Sultana existe una plantación con plátanos Hartón y Dominico-Hartón con edad aproximada de cinco años manejado tradicionalmente, donde se seleccionaron nueve unidades de plátano Hartón y nueve unidades de plátano Dominico-Hartón así: tres en estado de desarrollo adecuado, tres en desarrollo medio y tres en estado inadecuado las cuales se distinguieron por colores con cintas para las adecuadas el color blanco, las medias color amarillo y las inadecuadas color rojo. Sobre ellas, se planteó un diseño en bloques completos al azar 4 x 3, donde los tratamientos están compuestos por el factor (tipo de plátano y distancia de muestreo) y los bloques representan el estado de la planta (adecuado, medio e inadecuado).

Teniendo en cuenta lo anterior, se especifica que para determinar el estado de la planta se asumieron como características el perímetro del tallo (tomado a un metro de la base) y el vigor. Según el perímetro las plantas se clasificaron de la siguiente manera: adecuadas entre 70 y 50 cm, medias entre 50 y 40 cm e inadecuadas menores de 40 cm. Posteriormente, de cada grupo se escogieron nueve plantas por cada clon de acuerdo con el vigor representado por la calidad del follaje.

A continuación en la figura 1, se ilustra la distribución en campo. En la figura 2, las plantas marcadas según su estado.

La distribución de los tratamientos en campo se ilustra en la figura 1.

Figura 1. Distribución en campo



\*El muestreo se realizó por triplicado en cada planta tanto a 10 cm como a 40 cm.

Figura 2. Plantas marcadas según su estado: a) Roja: estado inadecuado. b) Amarillo: estado medio



Fuente Los autores

### **3.3 INDICADORES A CARACTERIZAR**

Como indicadores del estado biológico del suelo se determinaron en cada una de las unidades experimentales la actividad biológica y la biomasa microbiana mediante la determinación del CO<sub>2</sub> orgánico (Método fumigación extracción - CIAT, Akasawa N, 2001).

### **3.4 MUESTREO**

Las 18 unidades experimentales fueron muestreadas por triplicado a 10 y 40 cm de distancia en dos momentos, a profundidad constante considerando que las raíces del plátano son superficiales. El primer muestreo se realizó en el mes de enero con un estado climático de sequía; tomando el comportamiento climático de la zona y verificándolo en la estación meteorológica Manuel Mejía, en el lote se tomaron 54 muestras en respiración y biomasa por cada tipo de plátano para Hartón y Dominico-Hartón, para un total de 108 muestras. El segundo muestreo se realizó en mes de abril en época lluviosa también constatada con los datos meteorológicos de la estación Manuel Mejía, con igual número de muestras en respiración y biomasa.

### **3.5 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO**

Aunque existen varios métodos para la determinación de la respiración en el suelo y de la estimación de la biomasa microbiana se decidió emplear los métodos a continuación descritos.

#### **3.5.1 Método para la determinación de respiración en el suelo (C-CO<sub>2</sub>).**

3.5.1.1 Procedimiento en campo: el procedimiento del método de campo propuesto por Swicher (1999), se describe a continuación:

- Se ubican los sitios donde se hace el muestreo, estos no deben estar cerca de los árboles o a otras plantas diferentes al cultivo de plátano.

- Evitar colocar las muestras en sitios cercanos a la casa o animales que puedan derribar la muestra.
- Preparar una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0.2N, la que es utilizada para capturar el CO<sub>2</sub> presente en el suelo.
- Adicionar al recipiente de vidrio 30 ml de solución de NaOH por sitio de muestreo y tapar inmediatamente.
- En el sitio de muestreo, remover la vegetación presente alrededor de la planta en un espacio un poco más grande que la circunferencia del recipiente plástico que se utiliza para cubrir el recipiente de vidrio que contiene NaOH, se debe observar que no existan macro invertebrados en el suelo (lombrices, hormigas, cucarrones, etc.), intentando no perturbar el suelo ya que la remoción de este puede causar una liberación excesiva del CO<sub>2</sub>.
- Colocar los recipientes de vidrio con NaOH en frente de cada planta a dos distancias diferentes (10 y 40 cm) en el espacio ya limpio, haciendo un poco de presión contra el suelo para evitar que se derribe.
- Quitar las tapas del recipiente del vidrio y cubrir inmediatamente con el recipiente plástico, para prevenir la entrada de CO<sub>2</sub> atmosférico.
- En cada punto de muestra se debe tomarla temperatura al suelo y al ambiente.
- Dejar los recipientes de vidrio con NaOH cubiertos con el recipiente de plástico en el campo por 24 horas. Adicionalmente colocar tres recipientes de vidrio de NaOH también cubiertos con los recipientes de plástico en el laboratorio, preferiblemente en una superficie de cemento u otra materia que no respire, herméticamente sellada, para utilizarlos como testigos.

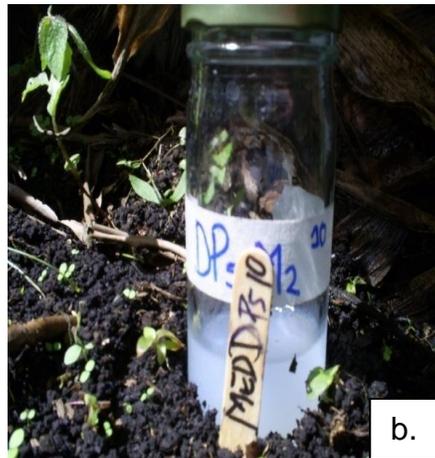
Figura 3. Recipientes de vidrio con el NaOH cubiertos con los recipientes plásticos a las dos distancias establecidas (10-40 cm).



Fuente: Los autores

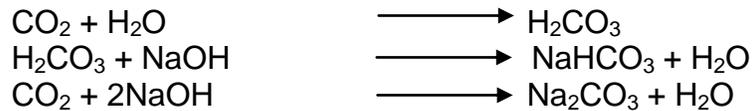
- Pasadas las 24 horas levantar los recipientes plásticos con mucho cuidado, teniendo la precaución de no introducir terrones de tierra o algunos insectos dentro de los frascos con NaOH.
- Cuando se hace la recolección de los recipientes de vidrio, se deben adicionar inmediatamente 3 gotas de Cloruro de Bario al 3N ( $\text{BaCl}_2$ ) para precipitar todo el  $\text{CO}_3^-$  en la solución NaOH y detener la captura de  $\text{CO}_2$ , de nuevo se deben tapar los recipientes de vidrio para prevenir contaminación de la muestra con  $\text{CO}_2$  atmosférico.

Figura 4. 24 Horas después del montaje: a) Adición de cloruro de bario en el sitio de muestreo. b) Recipiente de vidrio con cloruro de bario



Fuente: Los autores

- Las muestras recolectadas se llevan directamente al laboratorio para así hacer la titulación que se describirá más adelante.
- Químicamente el NaOH captura el CO<sub>2</sub> liberados en campo mediante las siguientes reacciones:



3.5.1.2 Procedimiento en el laboratorio: el procedimiento de este método se describe a continuación:

- En el laboratorio se prepara una solución de Ácido Clorhídrico al 0.2N (HCl), la cual es utilizada para titular las muestras.
- Listas las muestras se adicionan 2 gotas de Fenolftaleína, con la cual inmediatamente toma un color violeta.
- En un soporte universal colocar una buretra de precisión de 25 ml y llenarla con la solución de HCl al 0.2N. Luego titular cada una de las muestras con HCl hasta que el color violeta desaparezca y anotar el valor exacto en mililitros que se necesitaron para que la muestra cambiara de color violeta a blanco.

3.5.1.3 Procedimiento matemático: el procedimiento matemático vinculado en este método se describe a continuación:

- La Cantidad de C-CO<sub>2</sub> se calcula con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Mg C - CO}_2}{(\text{t por Área})} = \frac{(\text{ml de HCltestigo} - \text{ml de HClmuestra})(N)(E)}{(\text{t por Área})}$$

Dónde:

HCl muestra = ml de HCl utilizados para titular la muestra.

HCl Testigo = Promedio de ml de HCl Utilizados para titular testigos.

N = Normalidad de NaOH y HCl.

E = Peso miliequivalente de Carbono = 6 mg/meq.

A = Área de la boca del recipiente plástica.

- Corregir el resultado según la temperatura del suelo. Primero, calcular la diferencia entre la temperatura del suelo y 25°C y dividir la diferencia entre 10.

$$\frac{25^{\circ}\text{C} - \text{Temperatura del suelo}}{10}$$

- Si la temperatura del suelo es entre 15 y 35°C, se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Tasa de Respiración} \times 2^{25-T/10}$$

- Si la temperatura del suelo entre 0 y 15°C, utilice la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de Respiración} \times 4^{25-T/10}$$

- El resultado final se llama la Tasa estándar (25°C) de respiración.

### **3.5.2 Estimación de la biomasa microbiana BMS, en función del carbono microbiano (Método de fumigación–extracción, CIAT).**

3.5.2.1 Procedimiento en campo: Se describe a continuación:

- Simultáneamente con la prueba de actividad biológica (respiración) se toman aproximadamente 500gr de suelo en cada sitio donde se tomaron las muestras.
- Si la muestra no se utiliza el mismo día de la toma, se debe refrigera a 4°C con el fin de evitar pérdidas por humedad.

3.5.2.2 Procedimiento en el laboratorio: se describe a continuación:

- Inicialmente se debe hallar la humedad del suelo.
- Tamizar todas las muestras de suelo.

Figura 5. Tamizaje muestras de suelo para el laboratorio de biomasa



Fuente: Los autores

- En un recipiente pequeño de plástico colocar 5 gr del suelo tamizado recolectado de cada planta, las muestras denominadas fumigadas se colocan en un desecador (con silica gel) en un sitio que simule las condiciones de radiación de donde es originaria la muestra, dentro de este ubicar un beaker con 25 ml de Cloroformo libre de etanol. De igual forma se dejan 5 gr de cada muestra de suelo en un ambiente libre de Cloroformo, estas muestras corresponden a las no fumigadas (testigo). Las muestras se incuban por un espacio de 3 días.
- Para continuar con el procedimiento se debe preparar una solución de Sulfato de Potasio 0,50M ( $K_2SO_4$ ). Almacenar en recipiente ámbar y dejar la solución en refrigeración. Esta solución tiene una duración máxima de 3 meses.

Figura 6. Muestras denominadas fumigadas en el desecador para el desarrollo de biomasa



Fuente: Los autores

Figura 7. Muestras denominadas no fumigadas para el desarrollo de biomasa



Fuente: Los autores

- Pasados los 3 días, se sacan las muestras del desecador (con silica gel), se procede a extraer el carbono microbiano mediante la adición de 20 ml de Sulfato de Potasio RPA ( $K_2SO_4$ ) al 0.5M.
- Se colocan las muestras en un agitador orbital y se mantienen ahí durante 30 minutos.
- Agitadas las muestras se procede hacer la extracción gracias a una bomba de vacío que consta de un erlemeyer con desprendimiento, donde cae la extracción proveniente de las muestras, un embudo de Buchner donde se debe filtrar a través de papel filtro whatmman No 42, por donde debe pasar la muestra y se analiza el carbonato orgánico en el laboratorio. El suelo

testigo no fumigado, se trata con igual procedimiento (Visser y Parkison, 1992)

- Envasar nuevamente la solución extractada.
- Para continuar el procedimiento se debe utilizar una solución de Dicromato de Potasio al 0,40N ( $K_2Cr_2O_7$ ). Almacenar en un frasco ámbar en refrigeración. Esta solución tiene una duración máxima de 3 meses.
- Para la determinación del carbono orgánico, se toman del filtrado o extracto 4 ml, se adiciona 1 ml de Dicromato de Potasio RPA ( $K_2Cr_2O_7$ ) y con cuidado se adicionan 5 ml de Ácido Sulfúrico concentrado al 96% ( $H_2SO_4$ ). Previamente precalentado el bloque de digestión a  $150^\circ C$ , se colocan diferentes tubos de ensayo con las muestras.

Figura 8. Muestras en el bloque de digestión a  $150^\circ C$

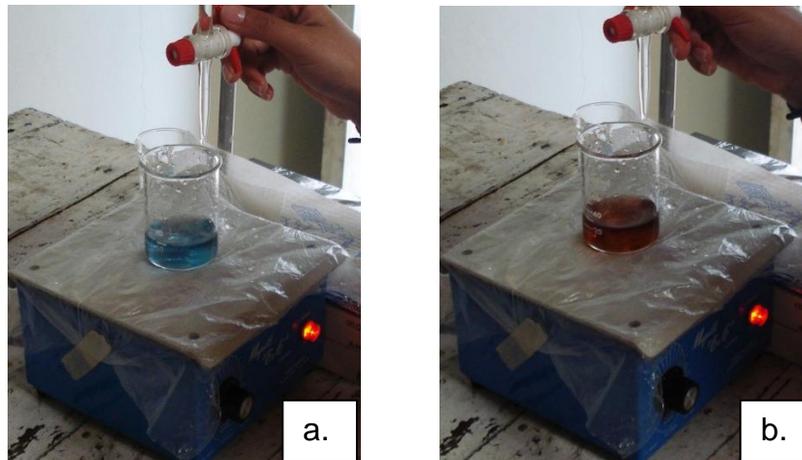


Fuente: Los autores

- Llevar los tubos de ensayo a un bloque de digestión seca a  $150^\circ C$  por 1 hora y 30min.
- Pasado el tiempo de digestión se dejan enfriar las muestras.
- Destapar los tubos de ensayo y pasar cada muestra a diferentes beaker, se adicionan 2 gotas de Ferroina indicadora, montar en la plancha de agitación con un magneto y titular.

- Para la titulación se debe preparar una solución de Sulfato ferroso amoniacal 6H<sub>2</sub>O al 0,033N (FAS). Almacenar en un recipiente de vidrio ámbar en refrigerador.
- Se titulan las muestras con FAS, la muestra inicialmente es de color verdoso, pasa a verde esmeralda, luego a verde agua marina y por último color café, y es en ese momento que se debe parar la titulación y anotar los mililitros de FAS que se consumieron para llegar al color café.

Figura 9. Titulación. a) Fase inicial, la muestra toma un color verde agua marina. b) Fase final, la muestra toma un color café



Fuente: Los autores

3.5.2.3 Procedimiento matemático: se describe a continuación:

- El Cálculo de la biomasa microbiana se hace por diferencia entre el carbono medido en el suelo fumigado y no fumigado, dividido por un factor K de corrección. Por sugerencia de Asakawa, CIAT, se empleara K=0.35.

Formula:

$$BMS = \frac{(\mu\text{gCF} - \mu\text{CNF})}{K} = \frac{\mu\text{gC}}{\text{gss}}$$

Donde:

BMS= Biomasa Microbiana

$\mu\text{gCF}$  = Microorganismos de Carbono en muestra fumigada

$\mu\text{gCNF}$ = Microorganismos de Carbono en muestra no fumigada

K = Constante de corrección

### **3.6 ANÁLISIS DE DATOS**

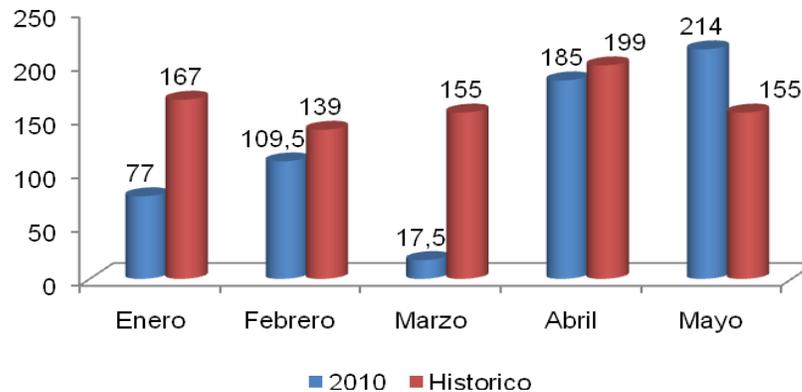
Los datos se analizaron estadísticamente utilizando el paquete estadístico de Microsoft Office Excel 2007 y SPSS v.8 de SPSS Inc., Rainbow Technologies, mediante herramientas como análisis de varianza para detectar diferencias entre los tratamientos (variedad por distancia de muestreo) y entre los bloques (estado del cultivo), pruebas de promedios para detectar el o los mejores tratamientos y bloques, y correlaciones bivariadas para establecer relación entre los resultados de las variables estudiadas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS ÁREA DE ESTUDIO.

Para el desarrollo de la investigación se estableció que la toma de datos se haría en dos épocas, una seca y otra lluviosa, las cuales se presentaron en los meses de enero-febrero correspondiente a época seca y los meses de abril-mayo época lluviosa; como lo corrobora la gráfica 1, donde se observa la presencia de lluvias en el 2010 comparadas con el histórico de precipitaciones tomadas de la Estación Meteorológica Manuel Mejía el Tambo Cauca.

Gráfica 1. Comparación entre el promedio de precipitación histórica entre enero y mayo y el promedio de precipitación en el 2009



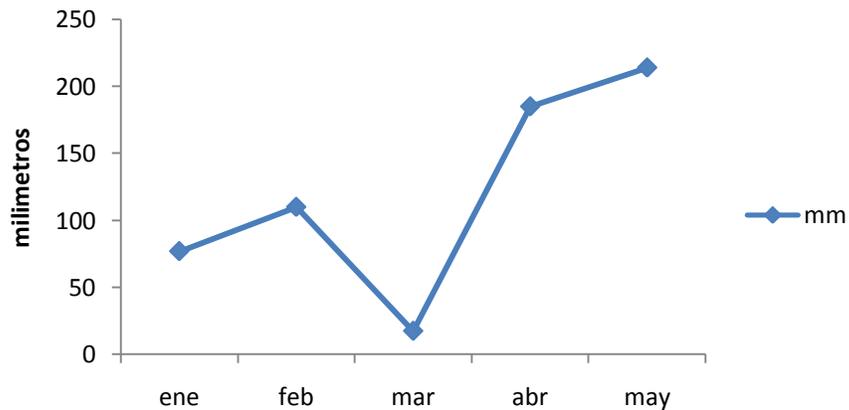
Fuente: Estación Meteorológica Manuel Mejía el Tambo Cauca

En la gráfica 2, se observa el comportamiento de la precipitación donde es evidente el incremento de la lluvias durante los meses de abril-mayo correspondiente a un 113.94%, respecto de los meses enero-febrero de poca precipitación. También se observa que en el mes de enero de 2010, se presentó 53.9% menos precipitación comparado con los datos históricos, en febrero se presentó una disminución de 21.23%, mientras en marzo se presentó una disminución de 88.71%, lo cual nos muestra que el primer trimestre hubo menor precipitación.

Para el mes de abril se presentaron 7.04% menos lluvias que el histórico y en el mes de mayo por el contrario llovió 38% más. Lo anterior permite corroborar que

los muestreos corresponden a las épocas establecidas en la investigación: época seca (enero-febrero) y época lluviosa (abril- mayo).

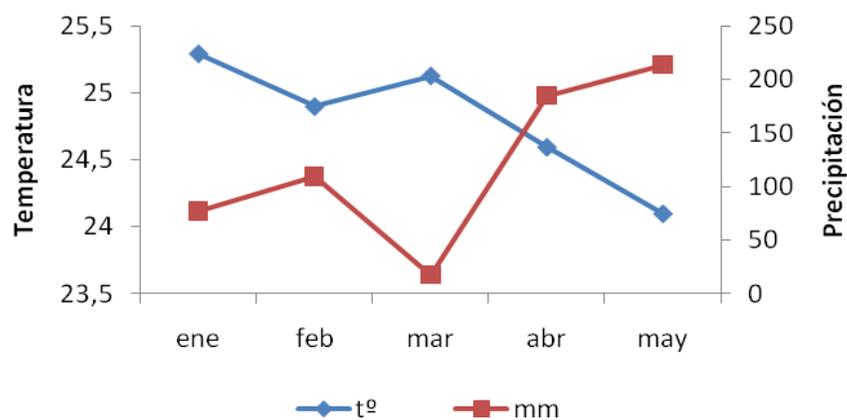
Gráfica 2. Promedios mensuales de precipitación entre enero-mayo 2010



Fuente: Estación Manuel Mejía el Tambo Cauca.

En la gráfica 3, se observa la correspondencia entre temperatura y precipitación, en los meses de abril-mayo a medida que aumenta la precipitación disminuye la temperatura.

Gráfica 3. Datos de temperatura y precipitación, entre enero y mayo de 2010



Fuente: Estación Manuel Mejía el Tambo Cauca

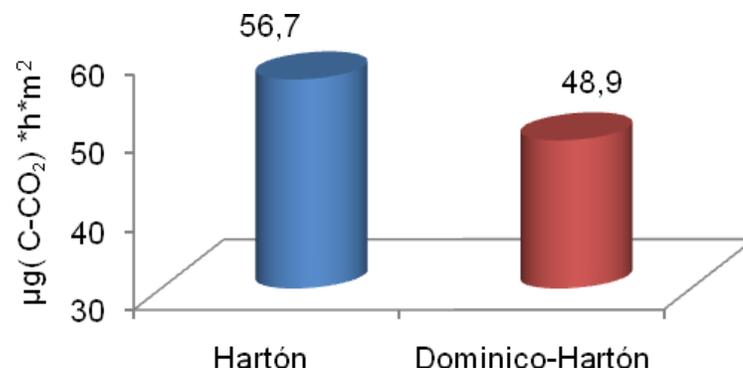
CORPOICA (2002), establece que a través de los estudios y experiencias la temperatura media ideal para la producción de plátano es de los 18°C, siendo la óptima 27°C; con respecto a la precipitación requiere que fluctúen entre 1800 y 2500 mm anuales. Al observar la temperatura de la zona vemos que el promedio de temperatura en los meses de investigación se aproximó a las condiciones ideales para la producción de plátano. Se debe tener en cuenta la altura ya que esta afecta el periodo vegetativo, se estima que se prolonga aproximadamente 10 días, por cada 100 msnm.

#### 4.2 EFECTO DE LOS CLONES SOBRE LA DINÁMICA MICROBIANA

A continuación se ilustra el efecto causado por los clones sobre la dinámica microbiana

**4.2.1 Efecto de los clones sobre actividad biológica.** En la gráfica 4, se observa el comportamiento de los promedios de la actividad biológica medida con base en la respiración de la rizósfera de los cultivares Hartón (H) y Dominico Hartón (DH) sin tener en cuenta la época de muestreo. Tomados los promedios de los valores generales de respiración se encontró que el clon Hartón arrojó mayor respiración ( $56.7 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), mientras que el clon Dominico-Hartón presentó en promedio  $48.9 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ . El clon Hartón presentó 15,95% más en la respiración que el Dominico-Hartón. Estas diferencias fueron detectadas por la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) (Anexo, 5).

Gráfica 4. Promedio de actividad biológica basada en respiración ( $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ) de los clones Hartón y Dominico-Hartón, durante el periodo de evaluación (enero-mayo)

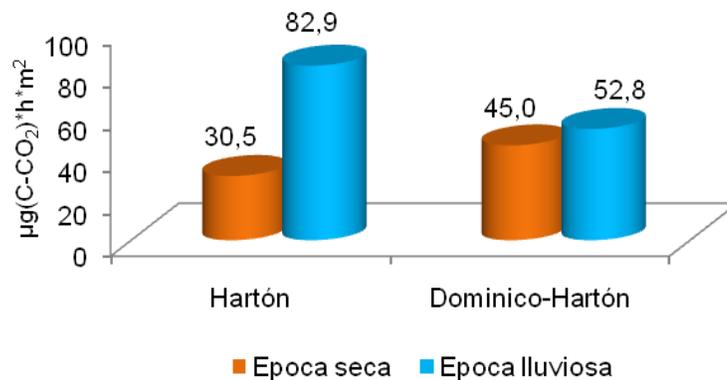


Fuente: Los autores

**4.2.2 Efecto de los clones en época seca.** La gráfica 5, muestra la actividad biológica medida como respiración en la rizosfera en época seca correspondiente a los meses de enero-marzo, donde las plantas del clon DH presentaron un promedio de  $45.0 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ , mientras el clon H un promedio de  $30.5 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ , develando que el clon de Dominico-Hartón respiró (33%) más que el clon de tipo Hartón (H) en la época seca. Estas diferencias fueron detectadas por el ANAVA ( $\alpha=0.05$  - anexo 2) y la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$  - anexo 4).

**4.2.3 Efecto de los clones en época lluviosa.** En la gráfica 5, se muestra el comportamiento de los promedios de la respiración en época lluviosa donde el clon Hartón presentó en promedio  $82.9 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$  y el clon Dominico-Hartón  $52.8 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ , reflejando que el clon H obtuvo más respiración (36.31%) con respecto al clon DH. También se observa la repuesta de los dos clones al cambio de época seca a lluviosa, donde Hartón incrementó su respiración en 171.8% lo cual muestra una repuesta más rápida; mientras el Dominico-Hartón (DH) tuvo un incremento del 17.33%. Estas diferencias fueron detectadas por la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$  – anexo, 4) y corroboradas mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$  – anexo, 5).

Gráfica 5. Comparación efecto clon en época seca y lluviosa medida en respiración ( $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ )



Fuente: Los autores

Los resultados mencionados anteriormente muestran que hubo incremento en la respiración en los dos clones cuando aumentó el volumen de lluvias. Esta repuesta se puede explicar por la misma morfología de la planta, ya que por la estructura de sus tejidos la planta de plátano requiere abundante cantidad de agua

disponible para su crecimiento y desarrollo normal (Robinson y Bower, 1998 citados por Cayón, 1998).

Cayón-G *et al.*, (1998), corrobora la respuesta de las plantas de plátano a los cambios de humedad en el suelo, al evaluar bajo condiciones controladas los efectos del estrés hídrico y la humedad relativa, sobre las tasas de intercambio gaseoso de las hojas de Dominico-Hartón y encontró una gran correlación entre estos dos factores, concluyendo que las plantas de plátano sometidas a estrés hídrico expresan reducción en las tasas de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática como respuesta al déficit de agua. Cayón-G *et al.*, (1998), manifiesta también que esta reducción en la tasa puede ocurrir hasta en un 50% en la tasa de fotosíntesis, sin embargo esta se recupera cuando disminuye el estrés hídrico.

La relación entre la fotosíntesis y la respiración están relacionadas en el hecho de que toda planta cuando expresa mayor desarrollo, incrementa la fotosíntesis, la transpiración, y aumenta la demanda de agua y nutrientes, por tanto hay mayor gasto y consumo de energía, la cual es producida en el proceso de respiración (Azcón-Bieto y Talon, 2000). Marschner, citado por Sánchez (2006), menciona que la planta traslada a la raíz entre el 30 y 60% del carbono neto proveniente de la fotosíntesis, para invertirlo en el crecimiento radical, liberándolo en la rizósfera como carbono orgánico.

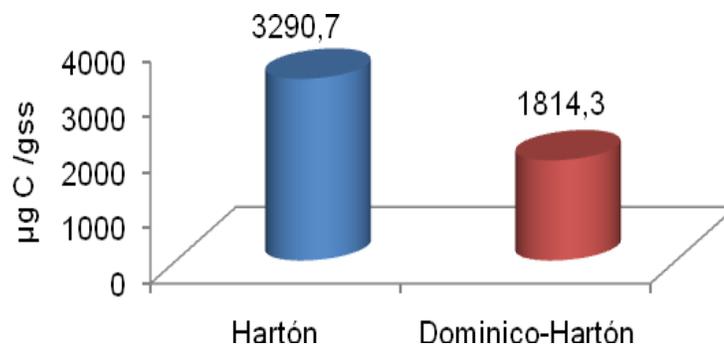
La reducción de la respiración en época de menor volumen de lluvia se puede explicar también según lo reportado por Tai (1977); Robinson y Bower (1988), quienes mencionan que la tendencia de las plantas de plátano a reducir la transpiración bajo condiciones de estrés hídrico, puede ser el indicio de un mecanismo de resistencia a la sequía, asociado a otros que la planta posee, para economizar agua, ya que ésta especie presenta una gran superficie transpirante. Para el caso de este estudio el clon Hartón manifestó en mayor intensidad este mecanismo de resistencia.

El otro aspecto a destacar se relaciona con el hecho de que el clon H presentó mayor respiración en los dos periodos, pero con mayor respuesta al periodo de lluvias (incrementó la respiración en 171.8% frente al aumento del 17.33% presentado por el DH, tendencia que explica porque el clon Hartón posee más tasa de fotosíntesis ( $13,9 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) que el clon Dominico-Hartón ( $12 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), por tanto mayor transpiración y mayor respiración (Cayón, 1996).

**4.2.4 Efecto de los clones sobre la biomasa microbiana.** En la gráfica 6, se puede observar el comportamiento de la biomasa microbiana durante todo el periodo de evaluación en el cual el clon Hartón presentó valores de (3290.7  $\mu\text{g C/gss}$ ) y el clon Dominico-Hartón (1814.3  $\mu\text{g C/gss}$ ), mostrando que el clon Hartón (H) tuvo una mayor biomasa con un 44.87% más que el Dominico-Hartón.

Al comparar los promedios generales obtenidos durante las dos épocas de muestreo para la variable BM mediante prueba de t ( $\alpha=0.10$ ), indicó que los promedios alcanzados por los clones presentaron diferencias significativas, mostrando al clon Hartón como el de mayor valor. (Anexo, 6).

Gráfica 6. Promedio de actividad biológica basada biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/gss}$ ) en de los clones Hartón (H) y Dominico-Hartón (DH), durante el periodo de evaluación (enero-mayo)



Fuente: Los autores

**4.2.5 Efecto de los clones sobre la biomasa microbiana en época seca.** En la gráfica 7, se puede observar la tendencia de la biomasa microbiana en época seca, donde el clon Hartón obtuvo un promedio de 2068.3  $\mu\text{g C/gss}$  y el clon Dominico-Hartón 1345.6  $\mu\text{g C/gss}$ , mostrando que el clon Hartón presentó un 34.95% más BM que el clon de Dominico-Hartón.

La prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) detectó una mayor biomasa en el clon Hartón (Anexo, 4).

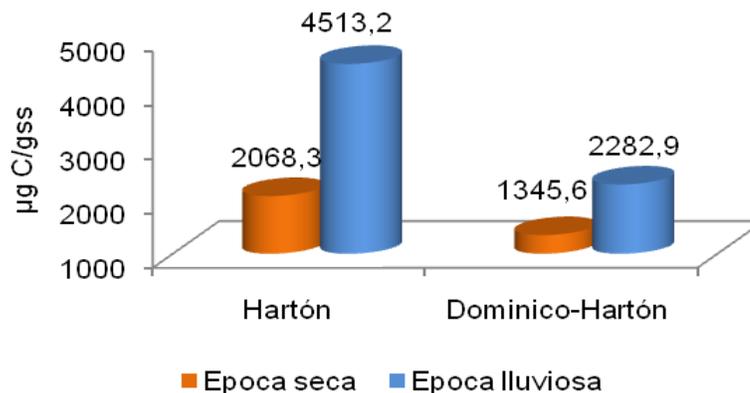
**4.2.6 Efecto de los clones sobre la biomasa microbiana en época lluviosa.** En la gráfica 7, se puede observar el comportamiento de los dos clones durante la

época lluviosa, donde el clon Hartón presentó mayor promedio de BM (4513.2  $\mu\text{g C/gss}$ ) que el clon Dominico-Hartón (2282.9  $\mu\text{g C/gss}$ ) representando una diferencia de 49.41% en el resultado de la biomasa microbiana.

Al relacionar las épocas seca y lluviosa se observa que el clon de Hartón presentó un incremento del 118.20% en la época lluviosa, mientras el clon de Dominico-Hartón incrementó en un 69,65% en esta misma época, mostrando una mejor respuesta de la biomasa microbiana en el clon Hartón.

El análisis de varianza (ANAVA) practicado a los valores de la biomasa microbiana en época lluviosa (Anexo, 3), detectó diferencias significativas entre el clon Hartón y Dominico-Hartón, en consecuencia, la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) develó mayor BM en el clon Hartón. (Anexo, 4).

Gráfica 7. Comparación efecto clon en época seca y lluviosa medida en biomasa microbiana  $\mu\text{g C/gss}$  época seca y lluviosa



Fuente: Los autores

El alto valor de la BM, puede estar asociado a el tipo de planta pero también al contenido de materia orgánica (MO) existente en el suelo; en este caso del 11.8%, aunque también puede ser producto del contenido natural en el suelo y de los aportes que la planta hace. (Anexo, 15).

En cuanto a la planta, Carrillo, (2003), indica que la especie o variedad de planta induce un efecto rizosférico característico, pero cuando las raíces envejecen desaparecen progresivamente dando lugar a la proliferación de los microorganismos que intervienen en la descomposición de los tejidos vegetales

mueritos. Y en cuanto a la MO, es de destacar que el análisis de suelo realizado al lote en estudio evidencio contenidos del 11.8% (Anexo, 15), considerados altos, varios autores han encontrado relación directa entre el contenido de MO en el suelo y la actividad microbiana.

Parton *et al.*, (1987) menciona que la relación directa entre la materia orgánica y la dinámica de la biomasa microbiana, puede ocurrir en cualquier ecosistema natural o manipulado, debido a que todo material orgánico que ingresa al suelo es utilizado como fuente de energía por las poblaciones microbianas.

Los incrementos de BM en la rizosfera de los dos clones cuando aumentó el volumen de lluvias (abril-mayo) puede relacionarse con el hecho de que así como se incrementó el volumen de las precipitaciones se incrementó la actividad fisiológica de la planta, expresada en mayor respiración y en una mayor actividad radical, la que condujo a liberación de rizodepositados y como posible efecto aumentaron las poblaciones de microorganismos. (Siqueira y Franco, 1988, basados en Hale y Moore, 1979; Cardoso y Freitas, 1992, citados por Sánchez, 2006 y Paz et al, 2006).

Es necesario esclarecer que la zona de la rizosfera se alimenta en primera instancia de la fracción de la fotosíntesis (fotosintatos) que se trasladan a la zona radical, para realizar los procesos metabólicos requeridos por la raíz, para luego ser liberados (rizodepositados) parte de ellos, en forma de exudados, secreciones y como CO<sub>2</sub> resultante de la respiración radical. Estos exudados y secreciones son sustancias orgánicas e inorgánicas, que incluyen azúcares, aminoácidos, péptidos, proteínas, enzimas, vitaminas, hormonas, ácidos orgánicos, nucleótidos y, a nivel de trazas, sustancias con actividades biológicas específicas como atrayentes fungales (Burbano, 1989; Sánchez de P., 1996; Madigan *et al.*, 1999). Aquellos exudados de bajo peso molecular pueden movilizar nutrientes minerales directamente o indirectamente al proveer energía para la actividad microbiana en la rizósfera. Cardoso y Freitas (1992), calcularon que cada gramo de raíz, a través de sus exudados, puede dar soporte a 36 mg de bacterias  $-2 \times 10^{10}$  células, aproximadamente- (Sánchez, 2006).

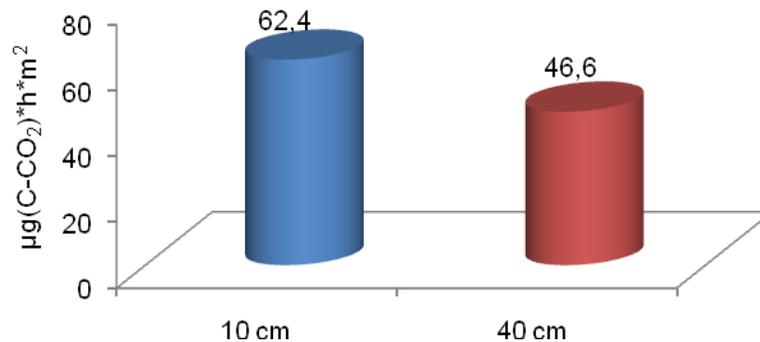
El otro aspecto a destacar se relaciona con el hecho de que el clon H presentó mayor biomasa microbiana en los dos periodos, pero con mayor respuesta al periodo de lluvias (incrementó la BM en 118,2% frente al aumento del 69,6% presentado por el DH), tendencia que se explica porque el clon Hartón posee mayor tasa de fotosíntesis, mayor respiración y en consecuencia mayor actividad en la zona de rizosfera, aportando posiblemente mayor contenido de exudados y permitiendo mayor desarrollo de microorganismos.

### 4.3 EFECTO DISTANCIA SOBRE LA DINÁMICA MICROBIANA

**4.3.1 Efecto distancia sobre actividad biológica.** En la gráfica 8, se puede observar el comportamiento de la respiración con base al efecto distancia a partir del tallo, donde a los 10 cm de distancia se obtuvo  $62.4 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$  y a los 40 cm  $46.6 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ , dejando ver que a la distancia de 10 cm hubo un 25.33% de incremento con respecto los 40 cm de distancia en la actividad biológica.

El análisis de promedios generales para la respiración según el efecto distancia mediante prueba de t ( $\alpha=0.05$ ), indicó que los promedios obtenidos a 10 cm del tallo fueron mayores (Anexo, 7). Entre tanto, al realizar la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), esta detectó mayor respiración a 10 cm de distancia del tallo, (Anexo, 4).

Gráfica 8. Relación entre las distancias a 10 cm y 40 cm en la actividad biológica medida en respiración  $\mu\text{g (C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2)$  durante la evaluación



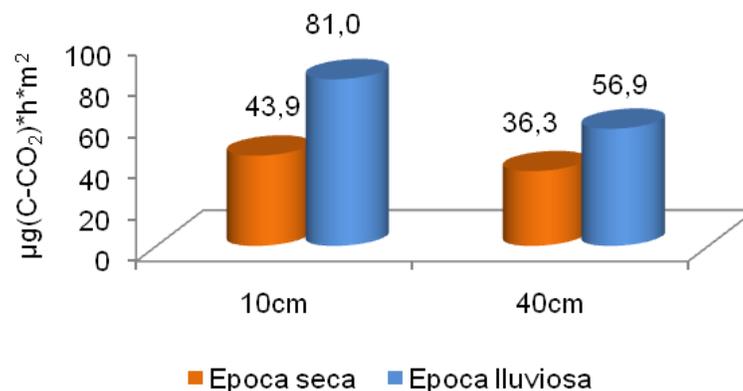
Fuente: Los autores

**4.3.2 Efecto distancia sobre la actividad biológica en época seca.** En la gráfica 9, se puede observar el comportamiento del efecto distancia en la época seca donde a 10 cm de distancia se presentó  $43.9 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$  y a 40 cm  $36.3 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ , por tanto, al comparar las dos distancias se obtiene que a los 10 cm se presentó un 17.32% más respiración que a los 40 cm de distancia. Y con referencia al clon, la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) detecto mayor respiración en las muestras correspondientes al clon Hartón, tomadas a 10 cm de distancia (Anexo, 4).

**4.3.3 Efecto distancia sobre actividad biológica en época lluviosa.** En la gráfica 9, se puede observar el comportamiento de la respiración en época lluviosa donde a 10 cm de distancia se obtuvo 81.0  $\mu\text{g C-CO}_2\text{*h*m}^2$  y a los 40 cm 56.9  $\mu\text{g C-CO}_2\text{*h*m}^2$ . Al comparar las dos distancias se muestra que a los 10 cm hubo un incremento en la respiración del 29.67% con respecto a los 40 cm de distancia. También se puede observar el efecto de la época lluviosa en la cual se presentó un incremento a los 10 cm de 84.51% y a los 40 cm de un 56.74%; frente a la época seca.

Y con referencia al clon, la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) detecto mayor respiración en las muestras correspondientes al clon Hartón, tomadas a 10 cm de distancia (Anexo, 4).

Gráfica 9. Comparación efecto distancia en época seca y lluviosa medida en respiración ( $\mu\text{g C-CO}_2\text{*h*m}^2$ )



Fuente: Los autores

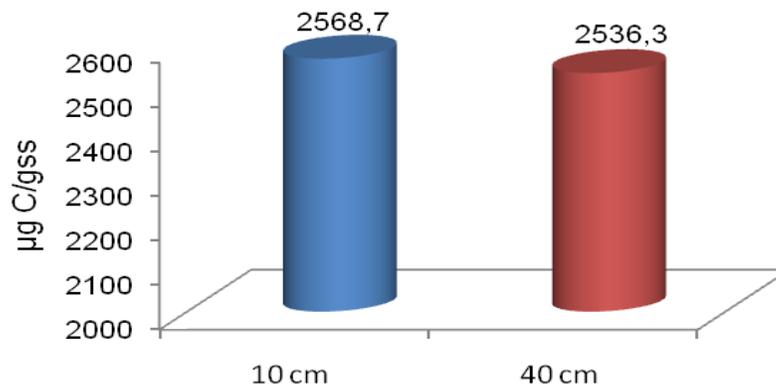
El mayor promedio de respiración obtenido a 10 cm de distancia del tallo se debe tanto a la acción de los microorganismos presentes como a la acción de la raíz. En lo que a la raíz respecta, se asocia con que el plátano posee raíces superficiales que se distribuyen en diámetro que varía entre de 30 - 40 cm, pero la mayoría se concentran entre los 15 – 20 cm, CORPOICA (2003), en consecuencia es de esperar en esta zona mayor actividad.

Martínez (1998) citando a Swennen (1986), dice que este encontró que del total de las raíces del plátano el 0.68% son primarias, el 53.44% son secundarias y el 45.88% son terciarias y que el 90% de las raíces se encuentran en los primeros

30cm del suelo, señala que esta es la razón por la cual el plátano es susceptible a disminuir su actividad en época seca. Lo anterior se puede entender desde el concepto de la rizosfera planteados por Siqueira y Franco (1988) que la definen como el entorno de mayor actividad física, química y principalmente biológica de gran interés de agronómico y ecológico que presenta una interfase de comunicación entre plantas terrestres y el sustrato suelo.

**4.3.4 Efecto distancia sobre la biomasa microbiana.** En la gráfica 10, se puede observar el comportamiento general de la biomasa microbiana sin tener en cuenta la época de muestreo, donde se obtuvieron valores para los 10 cm de distancia de 2568.7  $\mu\text{g C/gss}$ , para los 40 cm 2536.3  $\mu\text{g C/gss}$ . Al relacionar los dos promedios no se encontró diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, al analizar los resultados por época de muestreo se observó mayor BM a los 10 cm.

Gráfica 10. Relación del efecto distancia a 10 cm y 40 cm de la actividad biológica medida en biomasa microbiana  $\mu\text{g C/gss}$  durante la evaluación



Fuente: Los autores

**4.3.5 Efecto distancia sobre la biomasa en época seca.** En la gráfica 11, se puede observar el comportamiento que presentó la biomasa durante la época seca, en la cual el efecto distancia a 10 cm mostró una BM equivalente a 1717.3  $\mu\text{g C/gss}$  y a 40 cm 1696.6  $\mu\text{g C/gss}$ , esto deja ver que a 10 cm se presentó un 1,21% más de biomasa microbiana con respecto a la muestra tomada a 40 cm de distancia.

En el análisis de promedios para la BM en época seca sobre el efecto distancia mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ), indicó que los promedios si presentan diferencias significativas entre las distancias evaluadas, dejando ver que a 10 cm

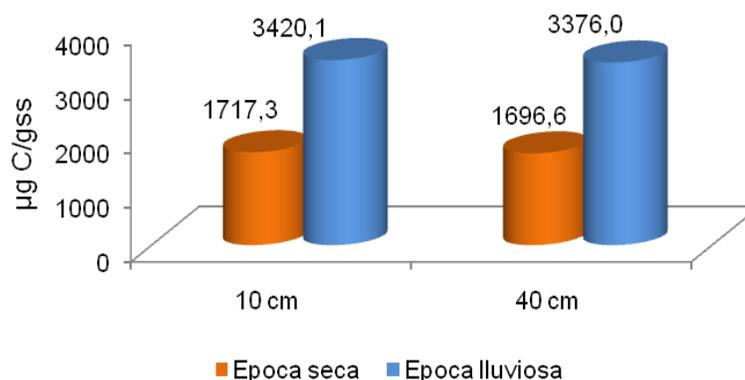
se presentaron mayores valores (Anexo, 8). Entre tanto, la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) detectó mayor biomasa en las muestras de Hartón tomadas a 10 cm de distancia (Anexo, 4).

**4.3.6 Efecto distancia sobre la biomasa en época lluviosa.** En la gráfica 11, se puede observar el comportamiento que presentó la biomasa microbiana durante la época lluviosa, en la cual el efecto distancia a 10 cm arrojó una cantidad de 3420.1  $\mu\text{g C/gss}$  de biomasa y a 40 cm 3376.0  $\mu\text{g C/gss}$ . La diferencia entre estas dos distancias en BM equivale a 1,29% a favor de los 10 cm como ocurrió en la época seca las diferencias entre las distancias no fueron significativas.

No obstante, comparando la época seca con la época lluviosa, se observa que se estimuló la biomasa a 10 cm donde ocurrió un incremento del 99.15% y a 40 cm 98,98%, observándose nuevamente un mejor comportamiento a los 10 cm de distancia en los muestreos.

La prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) detectó mayor BM en las muestras tomadas a 10 cm de distancia (Anexo, 4). Estos resultados también fueron arrojados por la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) que indicó que si se presentaron diferencias significativas entre las distancias favoreciendo aquella tomas a 10 cm (Anexo, 8).

Gráfica 11. Relación del efecto distancia a 10 cm y 40 cm de la actividad biológica medida en biomasa microbiana  $\mu\text{g C/gss}$  durante la época seca y lluviosa



Fuente: Los autores

Los incrementos de BM en la rizosfera de los clones de plátano cuando aumentó el volumen de lluvias (abril-mayo) como ya se explicó puede deberse a que con el

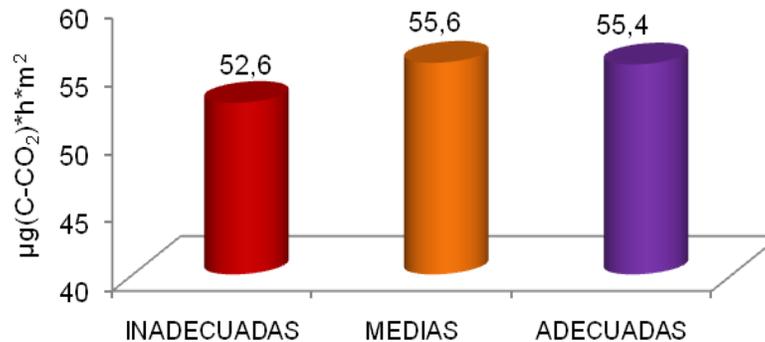
incremento las precipitaciones se incrementó la actividad fisiológica de la planta, también la respiración y en consecuencia una mayor actividad radical, conduciendo a liberación de rizodepositados y como efecto se dió un aumento en las poblaciones microbianas. (Siqueira y Franco, 1988, basados en Hale y Moore, 1979; Cardoso y Freitas, 1992, citados por Sánchez, 2006 y Paz *et al.*, 2006). Una vez más se corrobora lo mencionado por Anderson (1982), expresando que las medidas de la biomasa microbiana se ven influenciadas por las condiciones climáticas principalmente la precipitación y la evaporación.

#### **4.4 EFECTO ESTADO SOBRE LA DINÁMICA MICROBIANA**

**4.4.1 Efecto estado sobre actividad biológica.** En la gráfica 12, se puede observar el comportamiento de la respiración respecto al estado de la planta de plátano. En donde el promedio de los valores de respiración sin tener en cuenta la época de muestreo, para las plantas inadecuadas fue ( $52.6 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), para las medias ( $55.6 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ) y para las adecuadas ( $55.4 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), evidenciándose que la menor respiración se obtuvo en plantas tipo inadecuadas con 5,39 y 5,05% menos que las plantas tipo medias y adecuadas respectivamente.

En el análisis de los promedios generales para la variable estado de la planta, mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) permitió comparar los promedios entre los estados, encontrándose que las plantas adecuadas y medias no presentaron diferencias significativas y que las plantas inadecuadas fueron las que menor respiración presentaron (Anexo, 9).

Gráfica 12. Relación del efecto estado de la planta sobre la actividad biológica medida en respiración  $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$  durante la evaluación



Fuente: Los autores

**4.4.2 Efecto estado sobre la actividad biológica en época seca.** En la gráfica 13, se puede observar el comportamiento de la respiración respecto al estado de la planta durante la época seca, obteniéndose valores para inadecuadas ( $53.9 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), medias ( $49.8 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), y adecuadas ( $49.5 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), presentándose incrementos entre el 8.23% y el 8.88% de las inadecuadas frente a los otros estados.

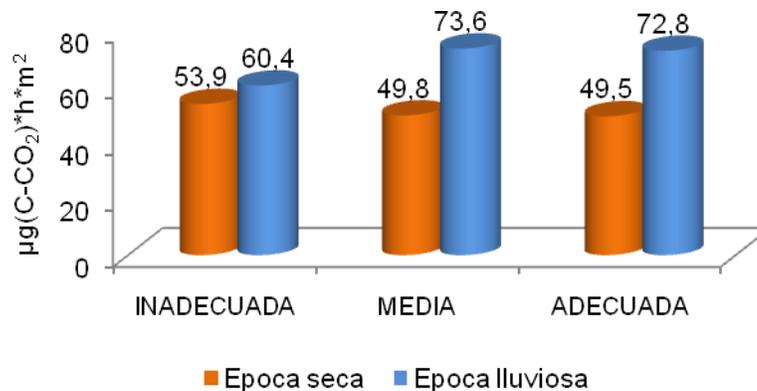
En el análisis de promedios para la respiración en época seca sobre el efecto estado de la planta, mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ), indicó que al comparar los promedios de plantas adecuadas y medias no se presentaron diferencias significativas y que las plantas inadecuadas fueron las que mostraron mayor respiración (Anexo, 10).

**4.4.3 Efecto estado sobre la actividad biológica en época lluviosa.** En la gráfica 13, se puede observar el comportamiento de la respiración respecto al estado de la planta durante la época lluviosa donde las plantas inadecuadas presentaron ( $60.4 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), medias ( $73.6 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), y adecuadas ( $72.8 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), al establecer los porcentajes entre los promedios se obtuvo que se presentaron incrementos entre el 17.93% y 17.03%.

En el análisis de promedios para la respiración en época lluviosa sobre el efecto estado de la planta, mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ), indicó que al comparar los promedios de las plantas adecuadas y medias, estas no presentaron diferencias

significativas y que las plantas inadecuadas fueron las que menor respiración presentaron (Anexo, 11).

Gráfica 13. Relación del efecto estado sobre la actividad biológica medida en respiración  $\mu\text{g}(\text{C-CO}_2)^*\text{h}*\text{m}^2$  durante la época seca y lluviosa



Fuente: Los autores

Según lo expuesto por Cayón 1998, quien expone que las plantas de plátano por su morfología requieren abundante cantidad de agua disponible para su crecimiento y desarrollo normal, activan un mecanismo de resistencia como respuesta a la sequía, y como efecto disminuyen la tasa de respiración. Tai (1977); Robinson y Bower (1988), coincide que este mecanismo permite economizar agua, ya que ésta especie presenta una gran superficie transpirante. Y lo expuesto por Burbano (1989), quien expone que las diferencias en la nutrición de la planta probablemente conducen a cambios en los exudados de las raíces; así que factores ambientales como altas intensidades de luz y temperatura, marchitamiento temporal de la planta y por supuesto el daño de las raíces favorecen el proceso de exudación.

La mayor respiración presentada por la plantas inadecuadas se puede basar en el hecho de que en estas plantas al no poseer una condición nutricional normal, el mecanismo de resistencia a la sequia no sea tan eficiente, hace que la planta no disminuya su tasa de transpiración y como consecuencia presente mayor actividad radical y en consecuencia mayor respiración.

La mayor respuesta en la respiración de las plantas adecuadas, ocurrida en época lluviosa, se puede explicar sobre la necesidad abundante de agua que requieren

las plantas de plátano consecuente con su estado y vigor, ya que al aumentar la disponibilidad humedad en el suelo, estas, aumentaron la tasa de absorción de agua y de transpiración y en consecuencia la actividad radica incluyendo la respiración.

**4.4.4 Efecto estado sobre la biomasa microbiana.** En la gráfica 14, se observa el comportamiento de la biomasa respecto al estado de la planta durante la evaluación donde encontraron inadecuadas (2560.6  $\mu\text{g C/gss}$ ), medias (2444.2  $\mu\text{g C/gss}$ ), y adecuadas (2652.6  $\mu\text{g C/gss}$ ), al comparar sus porcentajes se presentaron incrementos entre el 7.85% y 4.76%.

En el análisis de promedios generales para BM sobre el efecto estado de la planta, mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) indicó que al comparar los promedios de plantas en los tres estados no se presentaron diferencias significativas entre ninguno. (Anexo, 12).

Gráfica 14. Promedios efecto estado de la planta sobre la actividad biológica medida en biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/gss}$ ) durante la época de evaluación (enero-mayo)



Fuente: Los autores

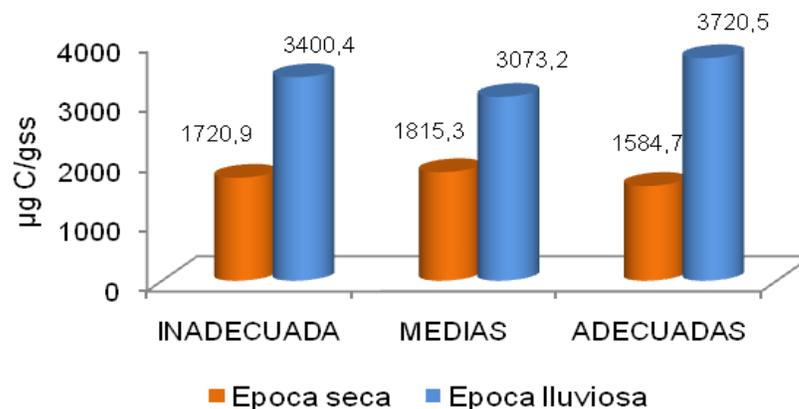
**4.4.5 Efecto Estado sobre la biomasa en época seca.** En la gráfica 15, se puede observar el comportamiento de la biomasa respecto al estado de la planta durante la época seca donde se encontraron valores de biomasa para las plantas inadecuadas (1720.9  $\mu\text{g C/gss}$ ), medias (1815.3  $\mu\text{g C/gss}$ ), y adecuadas (1584.7  $\mu\text{g C/gss}$ ) presentándose porcentajes de 5.48% y 12.71% al comparar los estados de las plantas.

En el análisis de promedios para BM en época seca sobre el efecto estado de la planta, mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) indicó que al comparar los promedios de se presentó diferencias significativas entre todos los estados, destacándose que en las plantas adecuadas se encontró menor cantidad de biomasa microbiana. (Anexo, 13).

**4.4.6 Efecto Estado sobre la biomasa en época lluviosa.** En la gráfica 15, se puede observar el comportamiento en biomasa respecto al estado de la planta durante la época lluviosa donde se obtuvieron valores para las plantas inadecuadas (3400.4  $\mu\text{g C/gss}$ ), medias (3073.2  $\mu\text{g C/gss}$ ), y adecuadas (3720.5  $\mu\text{g C/gss}$ ), presentando incrementos entre el 17.39 y 10.64% al comparar los tres estados evaluados.

La prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) detectó que si se registraron diferencias significativas entre las variables, a favor de las plantas denominadas inadecuadas. En el análisis de promedios para BM en época lluviosa sobre el efecto estado de la planta, mediante la prueba de t ( $\alpha=0.05$ ) indicó que al comparar los promedios de plantas también se presentó diferencias significativas entre todos los estados, pero al contrario de lo ocurrido en época seca, las plantas adecuadas incrementaron la cantidad de biomasa microbiana (Anexo, 14).

Gráfica 15. Promedios efecto estado de la planta sobre la actividad biológica medida en biomasa microbiana ( $\mu\text{g C/gss}$ ) durante la época seca y lluviosa



Fuente: Los autores

La tendencia de biomasa microbiana presentada por las plantas inadecuadas se relaciona con la actividad radical, y Burbano (1989), expone que las diferencias en la nutrición de la planta probablemente conducen a cambios en los exudados de las raíces; así que factores ambientales como altas intensidades de luz y temperatura, marchitamiento temporal de la planta y por supuesto el daño de las raíces favorecen el proceso de exudación.

Los incrementos de biomasa microbiana en la rizosfera respecto el estado de la planta tanto en inadecuadas (época seca) como en adecuadas (época lluviosa), puede relacionarse con el incremento de la actividad fisiológica de la planta, expresada en una mayor actividad radical y en mayor respiración, lo que condujo a liberación de rizodepositados como exudados y lisados (sustancias nutritivas para microorganismos) y en consecuencia se generó un aumento en las poblaciones microbianas. (Siqueira y Franco, 1988, basados en Hale y Moore, 1979; Cardoso y Freitas, 1992, citados por Sánchez, 2006 y Paz *et al.*, 2006).

Otra razón, obedece al hecho de que a medida en que la raíz se abre camino a través del suelo, las partículas minerales desgarran las partículas al contacto entre las raíces y el suelo que la rodean. Esta ruptura permite que el mucilago fluya en la rizosfera permitiendo el desarrollo de las poblaciones microbianas.

## 5. CONCLUSIONES

Existe actividad biológica y biomasa microbiana en un andisol ubicado en la finca La Sultana del municipio de Timbío, cultivado con dos clones de plátano (Hartón y Dominico-Hartón), la caracterización realizada de la dinámica microbiana indicó gran actividad en la rizosfera del plátano y el suelo.

Estimada la actividad biológica y biomasa microbiana en los dos cultivares de plátano, se obtuvo que el clon que presentó mayor actividad biológica y biomasa microbiana fue el Hartón con época seca ( $30,5 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ), época lluviosa ( $82,9 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ ) para respiración; en biomasa época seca ( $2068,3 \mu\text{g C/gss}$ ), época lluviosa ( $4513,2 \mu\text{g C/gss}$ ), aunque cabe destacar que durante la época lluviosa los dos clones incrementaron los valores de respiración y biomasa microbiana.

En la evaluación de las muestras tomadas a diferentes distancias (10 - 40 cm) de la base del tallo, se evidenció que aquellas tomadas a 10 cm presentaron los mayores valores promedios tanto de actividad biológica como de biomasa microbiana. Estos valores también se incrementaron en presencia de la época lluviosa.

Al relacionar la dinámica microbiana con el estado de la planta se encontró que en época seca las que menos respiración presentaron fueron las denominadas inadecuadas con un  $52,6 \mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$ , aunque en época lluviosa la respiración se incrementó, en las plantas inadecuadas este valor continuo siendo menor.

Los resultados evidenciaron que la oferta hídrica es necesaria para mantener la actividad de la rizosfera, por tanto el ciclaje de nutrientes y el desarrollo de la planta.

## 6. RECOMENDACIONES

Es pertinente continuar con las investigaciones en el cultivo del plátano, que permitan establecer cuál es el efecto de la dinámica microbiana sobre el cultivo y como esta, puede ser usada para la conservación de las características del suelo en cuanto a salud y calidad.

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron establecer que el déficit hídrico afecta la actividad de la rizosfera, por tanto, es necesario la programación de actividades de riego en épocas secas y más aún con influencia del fenómeno del niño.

Es conveniente que los protocolos en el laboratorio se hagan de la manera más rigurosa para evitar la inclusión de factores de variación en las variables evaluadas.

## BIBLIOGRAFÍA

AMEZQUITA, E., 2000. Residuos orgánicos superficiales (MULCH), su importancia en el manejo de los suelos. Congreso de la Sociedad Colombiana de Ciencias del Suelo. Bucaramanga. 198p.

ANAYA, F., 2008. Municipio de Timbío. Compilación de datos generales. En <http://www.timbiocauca.gov.co/municipiodetimbiocauca.pdf>.

ANDERSON, J., 1993. Tropical soil biology and fertility handbook of methods. CAB International, wallingford, UK. 9 70-90

Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA. En <http://www.augura.com.co/informaciónremial>.

ARAUJO, G., 1999. Efectos de diferentes sistemas de labranza y manejo del suelo en la vegetación acompañante de andisoles del municipio de Pescador departamento del Cauca. Palmira. 107p.

ARTEAGA, E., *et al.*, Prácticas de conservación de suelos y aguas validadas por el proyecto JAIDA- serie "Estudios e investigaciones proyecto JAIDA". La Madona, Sucre Bolívar 2003.

ACJ ASOCIACIÓN COLOMBO-JAPONESA 2004. Programa de asistencia técnica para la agricultura del Valle del Cauca. (Convenio ATN/MH-6755-CO). El Plátano del Bolo, la mejor alternativa para el agricultor. Cartilla No 5. 20p

AZCÓN-BIETO, J., 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Mc Graw Hill. Madrid 522 p.

AZCÓN-BIETO, J., TALON M., 1993. Fisiología y Bioquímica vegetal. Fisiología vegetal, Facultad de Biología. Universidad de Barcelona, España. Departamento de Citricultura, Instituto Valenciano de Ciencias Agrarias, Moncada, Valencia, España. Interamericano Mc Graw-Hill. Pp 123-126

BELALCAZAR, S., 1991. El cultivo del plátano en el trópico. Manual de asistencia técnica N° 50. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Armenia, CO. 376p.

BELALCAZAR, S., G. CAYÓN & J.E. LOZADA. 1998. Ecofisiología del cultivo. Pp. 91-109 *in* El cultivo del plátano en el trópico. (S.L. Belalcázar, ed). ICA, Manual de asistencia técnica No. 50, CIID, Ottawa, Canadá; Federación Nacional de Cafeteros, Colombia; INIBAP, Montpellier, Francia. P 20-55

BELALCAZAR, S., 1994. Mejoramiento de la producción del cultivo del Plátano. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA-CORPOICA).Armenia, CO.256p.

BEJARANO DE CARVAJAL, C., *et al.*, Los suelos su uso y manejo: Cartilla divulgativa para el agricultor Colombiano IGAC 1987.

BENJUMEA, C., SANCHEZ DE P, M., MIRANDA, J.C., 1996. Actividad microbiana en tres agroecosistemas en Roso (Valle). ASCOLFI informa 22 (1) 5-7. Enero – Febrero 1996. Boletín técnico. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. Vol. 7: 7-17.

BENJUMEA, C.P., 1998 Evaluación de la actividad microbiana en cultivos de plátano (MUSA AAB) en Rozo, Valle del Cauca. Tesis de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sede Palmira. 64p.

BOLAÑOS, B.M., 2000. Recuperación de suelos degradados y su importancia para obtener una producción competitiva y sostenible: en primera jornada académica agroindustria y biotecnología hacia un futuro mejor. <http://www.ugcarmen.edu.co/memorias%20word/corpoica%201.htm>.

BOYER J.S., 1976. Water deficits and photosynthesis. Pp. 153-190 in Water deficits and plant growth Vol. 4. Soil water measurement, plant responses and breeding for drought resistance. (T.T. Kozlowski, ed). Academic Press Inc., New York, USA.

BOYER, J.S., T.T, Kozlowsky., 1974. Water deficits and photosynthesis. Pp. 153-190 in Water deficits and plant growth Vol. 4. (T.T. Kozlowski, ed.). Academic Press Inc., New York, USA.

BRAVO, O., 1998. “truquitos” microbiológicos. Cuaderno de Microbiología N°5. Departamento de agricultura Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

BURBANO, O., 1989. El suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos Universidad de Nariño, Pasto. Colombia.447p

CADENA, S.F., MADRIÑAN, R., 1998. Estimación de la biomasa microbiana en suelos de ladera bajo diferentes sistemas de manejo. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 37 p.

CARDOSO, E.J.B.N., FREITAS, S.S. 1992.La rizosfera. Pp 41-57 En: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI. S.M Y NEVES, M, C (Coord.). Microbiología do Solo. Sociedad Brasileira de la Ciencia do Solo. Campinas. 358 p.

CARRILLO, L., 1990. Fertilización racional de los cafetales. Avances técnicos de CENICAFE. N° 147, Agosto 1990. Chinchina.

CARTER, MR., GREGORICH, EG., ANGERS, DA., BEARE, MH., SPARLING, GP., WARDLE, DA., VORONEY, RP., 1999. Interpretation of microbiana biomass measurements for soil quality assesement in humid temperate regions. Canadian Journal o Soil Science 79:507-520.

CASTAÑO, C; HERRERA, G; MADERO, E. 2000. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas de un uster y sobre la producción de maíz en el Valle del Cauca Colombia. Acta agronómica 50 (1 y 2): 48-58.

CAYÓN, M.G., J.E. LOZADA y S. BELALCAZAR. 1994. Estudios comparativos sobre la actividad fotosintética de clones de plátano (*Musa* AAB y ABB, Simmonds) en Colombia. Pp. 549-558 in ACORBAT

CAYÓN M.G., M.A. El- Sharkawy & S. de Tafur. 1996. Efectos fisiológicos del estrés hídrico sobre varias especies vegetales. I. Maíz y soya. Revista COMALFI 23(2,3): 32-38

CAYÓN, M.G., J.E. LOZADA y S. BELALCAZAR 1998. Ecofisiología del plátano (*Musa* ABB Simmonds). Armenia. Corporación Colombiana de Investigaciones agropecuarias (CORPOICA). 236p

CCI (Corporación Colombiana Internacional), informe de prensa. Precios mayoristas del sector agropecuario 2000.

COBO L., José A. 2003. El suelo y el agua en la producción. Impresora Feriva. S.A. Cali Colombia. 258p

CORPOICA, 2002. El cultivo de Plátano, Manual técnico. Diciembre 2002, Manizales. Pg 114

CORPOICA, 2003. Guía para la producción ambiental del cultivo de plátano, septiembre 2003, Armenia. Pg 91.

CORPOICA, 2007. Sistemas agroforestales con plátano y su incidencia en la severidad de la sigatoka negra en zonas productoras de la Orinoquia. Villavicencio, Meta, Colombia. 90p.

CUELLO, Julio., DÍAZ, Oscar., TORREGROZA, Gustavo. Importancia de la semilla en la producción de plátano. CORPOICA. 2002. 60p

DATTARI. La importancia de la materia orgánica en el suelo. Revista Terralia. Julio 2004. 24p

DORAN, J., and PARKIN 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J; Coleman, D; Bezdicsek, D; Stewart, B. Eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin, SSS. Special publication number 15. pp 3-21

ECOGUIAS. El Agua en el manejo de cuencas. Bogotá. 1992

ESPINOSA, J., 2003. Encalado de suelos tropicales. En: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Bogota, D. C Colombia. Pag 75-84.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. Bushland – Texas. Boletín de suelos No. 54. 1998.

FEDECAFE, FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Comité Departamental del Quindío Manual de asistencia técnica No 50. El cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds) en el trópico 2000.s

FEDECAFE, FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual para el proceso de toma de muestra. Proyecto pronostico nacional de cosecha cafetera. Bogotá – Colombia 1998.

FOTH, H., y TURK, L., 1981. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Quinta Edición. México. 530p.

GALLARDO, L., 2000. Mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo: consecuencia sobre la contaminación. X congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 142 – 152p.

GARCIA, C., HERNANDEZ, M., (2000). Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España. C.S.I.C. Murcia.

GAVIRIA, M., Mercado interno del plátano en Colombia <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/mercoplátano.htm>.

GÓMEZ, L., CABALLERO, R., RINCON, B., 2000. Ecotopos cafeteros de Colombia. Zonificación agroecológica. Fedecafe. Bogotá.

GOMEZ, E; SANCHE Z DE P. 2000. Poblaciones microbianas asociadas con diferentes practicas agronómicas en el cultivo de yuca en la costa norte de Colombia. 26-34 pp.

HÜNNEMEYER, J.A., De Camino, R., y MULLER, S., 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Fertilización de diversos cultivos doceava aproximación manual de asistencia técnica No 75. 2007

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Seminario Taller sobre SUELOS. Cali 1997.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Manual de asistencia técnica N° 50. El cultivo del plátano 2003.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Bogotá. IGAC 502p.

JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

KARLEN, D.L., MAUSBACH, M.J., DORAN, J.W., CLINE, R.G., HARRIS, R.F. y SCHUMAN, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.

KARLEN, D.L., WOLLENHAUPT, N.C., ERBACH, D.C., BERRY, E.C., SWAQ, J.B., EACH, N.S. y JORDAHL, J.L. 1997. Crop residue effects on soil quality following 10 years of no till corn. *Soil Tillage Research* 31: 149-167

LEON, L. A. 2001. Evaluación de la fertilidad del suelo. In fertilidad de suelos: diagnóstico y control, 2º ed. Por F. S. Silva, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá Colombia. P 155-183.

LYNCH, J.M., 1983. Soil biotechnology. Microbiological factors in crop productivity. Blackwell scientific publications. Oxford. pp 25-40

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M. y PARKER, J 1999. Brock. Biología de los microorganismos. Octava edición. Prentice ,Madrid. 986 p.

MADRIÑAN, R. 1997. Manual de prácticas de laboratorio de física de suelos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 45p.

MALAGON, D., PULIDO, C 1995. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. IGA. Bogotá 632p.

MANEJO EN EL CENTRO DE EMPAQUE, Plátano Para Exportación. <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s04.htm>

MARTÍNEZ, L. POTOSÍ, S. 2005. Fraccionamiento de fosforo y su correlación con la materia orgánica y otras propiedades de los suelos del departamento del Cauca. Trabajo de grado (Químico). Universidad del Cauca, Popayán.

MAYEA, S. 1989. Microbiología agrícola. Pueblo y educación. Primera ed. 157p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia DOCUMENTO DE TRABAJO No. 102 LA CADENA DE PLÁTANO EN COLOMBIA UNA MIRADA GLOBAL DE SU ESTRUCTURA Y DINÁMICA 1991-2005 En <http://www.agrocadenas.gov.co> Agosto 2009

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Boletín Área cosechada y rendimiento del plátano. Carlos Gutiérrez 2002.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. BOLETÍN PRODUCCIÓN DE PLÁTANO. 2007

MOSQUERA, L.A., 2000. Estimación de la Actividad Biológica de un Andisol Bajo Diferentes Sistemas de labranzas y Manejo en la zona del departamento del Cauca. Universidad Nacional. Palmira.

MUNICIPIO DE POPAYÁN. Plan de Ordenamiento Territorial. En <http://www.popayan.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m-t1--&x=1363451> Mayo 23 de 2009

NIELSEN, MN., WINDING, A 2002. Microorganismos as indicators of soil health. National environmental research institute (NERI), demark. Technical report N° 388.

PANKHURST, CE., HAWKE, BG; MC DONALD, HJ; KIRKBY, C.A; MICHELSEN, P; O'BRIEN, KA; GUPTA, WSR; DOUBE, BM. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. Australian Journal of experimental agriculture 35:1015-1028.

PARR, J., PAPENDICK, R., HORNI, S., and MEYER, R., 1992. Soil quality. Attributes y relationship to alternative and sustainable agriculture. Pp 5-11. In: American journal of alternative agriculture. 7: 1-2: 92.

PAUL, E; and CLARK, F 1989. The microflora of grassland. Advances in Agronomy: 375-435.

PAZ FERREIRO J, Propiedades bioquímicas de suelo de prado de Galicia. Tesis doctoral. USC. Facultad de farmacia. 2001

PAZ, I.E. 2005 Determinación de la relación existente entre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y el rendimiento de diferentes cultivares de café tecnificado bajo sombrero y a libre exposición en suelos unidad Calibio ecotopo 112B en la meseta de Popayán.

PAZ, I. E., SÁNCHEZ M. y SADEGHIAN S., 2006. Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades del suelo en la meseta de Popayán. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. Acta Agron. Vol 55. (4). P 1-6.

PEREA DALLOS. M 2003. Biotecnología de plátanos y bananos. Editorial Guadalupe LTDA. Bogotá, DC Colombia. 150 p

PRIMAVESI, A. 1984 Manejo Ecológico del suelo. Santa fe de Bogota.499p.

QUIROGA, R., FURANO, J., 2004. Agricultura de las Américas. Agua y suelo. Encalado en suelos ácidos. 125p

ROBERT, M., 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 37 - 39p.

ROBINSON, J.C., J.P. Bower., 1988. Transpiration characteristics of banana leaves (cv. "Williams") in response to progressive depletion of available soil moisture. Pp. 53-65 *in* Memorias de la IV reunión sobre agrofisiología del banano. (J.A.Guzmán, R. Romero, eds.). ASBANA, Costa Rica.

RODRIGUEZ, H., 2000. Efecto de la labranza en las propiedades físicas de un vertisol ústico y en la producción de sorgo, en el Valle del Cauca, Colombia. Acta agronómica 5 (1 y 2): 35 - 47.

ROJAS, A., ZÚÑIGA, O., y SÁNCHEZ DE P, M., 2000. Evaluación de la Conductividad térmica del suelo y su relación con la materia orgánica, actividad y biomasa microbiana en cultivos agroecológicos y convencionales de maracuyá *Pasiflora edulis* Sim f. *flavicarpa* Degener, en el municipio de Toro Valle del Cauca. Soil Science. 10p.

ROLLAN, S., GERDEMANN, J., MARMOLEJO, T., 2004. Influence of phosphorus nutrition of sulfur uptake by vesicular – arbuscular mycorrhizae of onion. Soil Soil. Biochem. Vol. 10: 361-364.

ROMING, D.E., GARLYND, M.J., HARRIS, R.F. y MCWEENEY. 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229 - 236.

ROSSI, RH., 2004. Aproximación al balance de sales y aguas del distrito de riego de Roldanillo, La Unión y Toro (RUT), Valle del Cauca – Colombia. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 209p.

SÁNCHEZ DE P. y GÓMEZ L., E.D. 2000 El suelo un sistema vivo. Cuaderno ambiental N° 1. Universidad Nacional de Colombia – Palmira. Instituto de Estudios Ambientales. 14p.

SÁNCHEZ DE P, M., 1990. Relación entre las características físicas, químicas y biológicas de varios suelos del Valle del Cauca y su efecto en los cultivos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 114p

SENA-CIPASLA-PRONATA, Cartilla de divulgación. Comparación de tres variedades de plátano cultivadas en zonas de Caldono Cauca Febrero de 2001.

SENA 2002. Cartilla Cultivo Musaseas. Bogotá.

SHIBU, M., LEFFELAA, P., and VAN KEULN. 2006. Quantitative description of soil organic matter dynamics – a review of approaches with reference to rice – based cropping systems. *Geoderma*. 137: 1 – 18.

SIADEGAN S, RIVERA, J. y GOMES M. 1997 Impacto de sistemas de ganadería sobre características químicas, físicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. CIPAD-CRQ. Quindío. 60-95p.

SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M. de S., GRISI, B.M., HUNGRIA, M., y ARAUJO, R.S., 1994. Microorganismos e procesos biológicos do solo. *Perspectiva ambiental*. EMBRAPA, Brasilia. 142p.

SIQUEIRA, J.O., y FRANCO, A.A., 1998. *Biotecnología do solo*. Brasilia: MEC Ministerio de Educación, ABEAS, Lavras. 236p.

SWISHER, M.E., 1999. Manual para el estudio de campo. Módulo 1 la ecología de la parcela. Universidad de la Florida. 84p

TAI, E.A., 1977. Banana. Pp. 441-460 *in* *Ecophysiology of tropical crops*. (P. de T. Alvim, T.T. Kozlowski (eds). Academic Press Inc., New York, USA.

TELLO, J., Y BELLO, A., 1994. El suelo como ente vivo. La rizosfera, los hongos y los nematodos fitopatogenos en la memoria del suelo. En prácticas ecológicas para una agricultura de calidad. I congreso de la sociedad española de la Agricultura. Toledo, Septiembre de 1994.

TELLO, J., Y BELLO, A., 1994. El suelo como ente vivo. La rizosfera, los hongos y los nematodos fitopatogenos en la memoria del suelo. En prácticas ecológicas para una agricultura de calidad. I congreso de la sociedad española de la Agricultura. Toledo, Septiembre de 1994

TRIANA, G., WILDER. 1998. Actividad microbiana en un andisol, con diferentes sistemas de manejo en la rotación yuca, descanso frijol. 120p.

Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. La materia orgánica en los agroecosistemas (V) 2000.

VILORA, J., Banano y revolución en el departamento de Magdalena. Documento número 105 2008.

VISSER, S., PARKINSON, D., 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms. *Am. J. AlternatAgric.* Vol.7 (1/2): 33-37.

YOSHIOKA, T., ISABEL, 2005. Actividad de fosfatasa ácida y alcalina en suelos cultivados con plátano musa AAB, en tres sistemas de manejo.

ZAPATA, R., 2000. Características químicas y mineralógicas de suelos derivados de ceniza volcánica. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 10-95p

## ANEXOS

## ANEXO 1

### MACROLOCALIZACION



### ANEXO 2. PROMEDIOS Y ANÁLISIS DE VARIANZA (ANAVA $\alpha=0.05$ ) PARA EFECTO CLON MEDIDO EN ACTIVIDAD BIOLÓGICA ÉPOCA SECA

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	BLOQUES			TOTAL	PROM.
		Inadecuado	Medio	Adecuado		
1	H 10 cm	37,2	35,7	48,7	121,6	40,54
2	H 40 cm	38,5	26,1	24,7	89,3	29,76
3	DH 10 cm	48,7	46,0	46,9	141,6	47,19
4	DH40 cm	54,7	42,1	31,9	128,7	42,90

FUENTE DE VARIACIÓN	GI	SC	CM	Fc	Ft	SIGNIFICANCIA
BLOQUES	3	131,90	66,0	1,13	4,76	NO
TRATAMIENTOS	4	495,36	165,1	4,53	2,83	SI
ERROR	6	349,59	58,26			
TOTAL	11	976,85				

ANEXO 3. PROMEDIOS Y ANÁLISIS DE VARIANZA (ANAVA  $\alpha=0.05$ ) PARA EFECTO CLON MEDIDO EN BIOMASA ÉPOCA LLUVIOSA

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	BLOQUES			TOTAL	PROM.
		Inadecuada	Media	Inadecuada		
1	H 10 cm	4563,3	3882,5	5593,0	14038,7	4679,58
2	H 40 cm	3654,9	5082,4	4302,9	13040,2	4346,75
3	DH 10 cm	2716,7	1671,6	2093,6	6481,8	2160,62
4	DH40 cm	2666,7	1656,3	2892,6	7215,7	2405,24

FUENTE DE VARIACIÓN	GI	SC	CM	Fc	Ft	SIGNIFICANCIA
BLOQUES	3	838065,55	419032,8	0,81	3,78	NO
TRATAMIENTOS	4	15177813,01	5059271,0	9,83	3,29	SI
ERROR	6	3086504,97	514417,50			
TOTAL	11	19102383,54				

ANEXO 4. PRUEBA DUNCAN, ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS DE VARIABLES BIOLÓGICAS EN DIFERENTES ÉPOCAS DE MUESTREO (SECA Y LLUVIOSA)

ÉPOCA		ACTIVIDAD BIOLÓGICA		BIOMASA MICROBIANA
Seca Enero- Febrero	DH 10 cm	47,19 a	H 40 cm	2032,70 a
	H 40 cm	29,76 b	H 10 cm	2013,88 b
	H 10 cm	40,54 b	DH 10 cm	1360,54 b
	DH40 cm	42,90 b	DH40 cm	1330,68 b
Lluviosa Abril-Mayo	H 10 cm	101,51 a	H 10 cm	4679,58 a
	H 40 cm	64,37 b	H 40 cm	4346,75 b
	DH 10 cm	60,54 b	DH40 cm	2405,24 b
	DH40 cm	49,47 b	DH 10 cm	2160,62 b

ANEXO 5. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS (PRUEBA DE t,  $\alpha=0.05$ ) DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS CLONES HARTÓN (H) y DOMINICO HARTÓN (DH) DURANTE EL TIEMPO TOTAL DE MUESTREO (EPOCA SECA Y LLUVIOSA).

FACTOR		ACTIVIDAD BIOLÓGICA $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{h}\cdot\text{m}^2$		
		Época seca	Época lluviosa	Evaluación total
CLON H vs DH	Tc	11.90	6.52	3.69
	Tt	2.11	2.11	3.18
	Prob.	0.05 **	0.05 **	0.05 *

NS=No presenta significancia

\*Diferencias significativas

\*\*Diferencias altamente significativas

ANEXO 6. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA BIOMASA MICROBIANA, SEGÚN EFECTO DE LOS CLONES HARTON (H) Y DOMINICO HARTÓN (DH), EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

	Época seca	Época lluviosa	Evaluación total
Tc	7.39	8.26	3.12
Tt	2.11	2.11	2.57
Prob.	0.05 **	0.05 **	0.05 *

NS=No presenta significancia

\*Diferencias significativas

\*\*Diferencias altamente significativas

ANEXO 7. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA, SEGÚN EFECTO DE DISTANCIA EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

	Época seca	Época lluviosa	Evaluación total
Tc	4.99	4.82	6.5
Tt	2.11	2.11	2.2
Prob.	0.05 *	0.05 *	0.05 **

Distancia para la recolección de las muestras desde la base del tallo.

ANEXO 8. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA BIOMASA MICROBIANA, SEGÚN EFECTO DISTANCIA EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

	Época seca	Época lluviosa	Evaluación total
Tc	12.84	3.00	9.10
Tt	2.11	2.11	2.2
Prob.	0.05 **	0.05 **	0.05 **

ANEXO 9. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA, SEGÚN EFECTO ESTADO EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

	Inadecuada – adecuada	Adecuada-medias	Inadecuadas-medias
Tc	1.79	11.70	3.91
Tt	3.18	3.18	3.18
Prob.	0.05 NS	0.05 **	0.05 *

NS=No presenta significancia

\*Diferencias significativas

\*\*Diferencias altamente significativas

ANEXO 10. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA, SEGÚN EFECTO ESTADO EN ÉPOCA SECA

	Inadecuada – adecuada	Adecuada- medias	Inadecuadas- medias
Tc	7.17	2.33	5.29
Tt	2.57	2.57	2.57
Prob.	0.05 **	0.05 NS	0.05 *

ANEXO 11. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA, SEGÚN EFECTO ESTADO EN ÉPOCA LLUVIOSA

	Inadecuada – adecuada	Adecuada- medias	Inadecuadas- medias
Tc	5.21	2.37	3.88
Tt	2.57	2.57	2.57
Prob.	0.05 *	0.05 NS	0.05 **

ANEXO 12. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA BIOMASA MICROBIANA, SEGÚN EFECTO ESTADO EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

	Inadecuada - adecuada	Adecuada- medias	Inadecuadas- medias
Tc	1.82	2.83	1.97
Tt	3.18	3.18	3.18
Prob.	0.05 NS	0.05 NS	0.05 NS

NS=No presenta significancia

\*Diferencias significativas

\*\*Diferencias altamente significativas

ANEXO 13. PRUEBA DE t ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA BIOMASA MICROBIANA, SEGÚN EFECTO ESTADO EN ÉPOCA SECA

	Inadecuada - Adecuada	Adecuada- Medias	Inadecuadas- Medias
Tc	8.25	39.12	6.48
Tt	2.2	2.2	2.2
Prob.	0.05 **	0.05 **	0.05 **

ANEXO 14. PRUEBA DE t. ( $\alpha=0.05$ ) PARA PROMEDIOS PROCEDENTES DE LA BIOMASA MICROBIANA, SEGÚN EFECTO ESTADO, EN ÉPOCA LLUVIOSA

	Inadecuado - Adecuado	Adecuado- Medio	Inadecuado- Medio
Tc	8.92	2.26	2.72
Tt	2.2	2.2	2.2
Prob.	0.05 **	0.05 *	0.05 *

