



**Efecto del Vertimiento de Subproductos del
Beneficio de Cacao sobre algunas
Propiedades Químicas y Biológicas en el Suelo
de una Finca Cacaotera, Municipio de
Yaguará (Huila)**

Kely Lorena Ortiz Valbuena

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2013

Efecto del Vertimiento de Subproductos del Beneficio de Cacao sobre algunas Propiedades Químicas y Biológicas en el Suelo de una Finca Cacaotera, Municipio de Yaguará (Huila)

Kely Lorena Ortiz Valbuena

Licenciada en Biología y Química
Ingeniera de Alimentos

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar el título de:

Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Asesor:

Biólogo Marino. M.Sc. Ricardo Álvarez León

Línea de Investigación

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2013

Acta de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

A Dios Padre y a su Santísima Madre por darme fortaleza para seguir adelante.

A Raúl Esguerra y mi familia, por el apoyo y comprensión en el desarrollo de este trabajo.

Al Doctor Ricardo Álvarez León, por orientarme y compartir de sus saberes y experiencias.

Al equipo de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, por la formación y saberes compartidos.

Resumen

Se determinó el efecto del vertimiento de los subproductos del beneficio de cacao en el suelo sobre algunas propiedades químicas y biológicas en una finca cacaotera en el municipio de Yaguará en el departamento del Huila. En este lugar se delimitó un área de 50m² para el depósito. Para dicho efecto se empleó el nivel mínimo de manipulación de dos circunstancias: Presencia – ausencia, empleando una prueba de hipótesis con un grado de confiabilidad del 95%. Los resultados obtenidos muestran que la variabilidad de los parámetros evaluados en el suelo está afectada por dicho vertimiento. No se encontró una relación directa concluyente que permitiera saber si son las cáscaras o el exudado que provoca la mayor variación, porque se asumió en conjunto.

Palabras claves: *T. cacao*, suelos, cáscara, exudado, micro-organismos, Huila.

Abstract

The effect of the dumping of the by-products of the benefit of cocoa on the floor on some chemical and biological properties on a cocoa farm in the municipality of Yaguará in the department of Huila. In this place was delimited an area of 50 m² for deposit. For this purpose we used the minimum level of manipulation of two circumstances: Presence - absence, using a hypothesis test with a level of reliability of 95%. The results show that the variability of the parameters evaluated in the soil is affected by such shedding. No direct relationship was found conclusively that would know if they are shells or exudate that causes the greatest variation, because they took together.

Keywords: *T. cacao*, soil, shell, exudate, micro-organisms, Huila.

Contenido

	Pág
Resumen.....	V
Lista de figuras.....	VIII
Lista de tablas.....	X
1. El problema y su contexto.....	12
1.1 Contexto de la investigación.....	12
1.2 Descripción del Área problema.....	13
1.3 Pregunta de Investigación.....	14
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivo general.....	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Justificación.....	15
2. Marco teórico y estado de arte.....	17
2.1 Características del <i>Theobroma cacao</i> L.....	17
2.2 Composición del fruto de cacao.....	17
2.3 Beneficio del cacao.....	20
2.4 Tipos de cacao.....	21
2.5 Principales enfermedades que afectan al cacao.....	23
2.5.1 La monilia del cacao.....	23
2.5.2 Phythophthora.....	24
2.5.3 Escoba de bruja.....	25
2.6 Cualidades y características de los suelos con cultivos de cacao.....	26
2.7 El suelo como soporte y fuente de nutrientes para las plantas.....	28
2.8 Factor organismos en el suelo.....	28
2.9 El magnesio, el potasio, el calcio y el fósforo en el suelo.....	30
2.9.1 El magnesio.....	30
2.9.2 El potasio.....	31
2.9.3 El calcio.....	31
2.9.4 El fósforo.....	32
3. Estrategia metodológica.....	33
3.1 Localización y caracterización de la zona.....	33
3.2 Unidad de análisis.....	¡Error! Marcador no definido.

3.3 Diseño de muestreo.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4 Técnicas e Instrumentos.....	35
4. Resultados y Discusión	37
4.1 Caracterización química	39
4.2 Caracterización biológica.....	44
5. Conclusiones y recomendaciones.....	48
5.1 Conclusiones	48
5.2 Recomendaciones	48
Bibliografía	50
Anexos	¡Error! Marcador no definido.
Anexo A. Propuesta de biosistema para el <i>T. cacao</i>	¡Error! Marcador no definido.
Anexo B. Test de hipótesis para el p H.....	56
Anexo C. Test de hipótesis para el magnesio.....	57
Anexo D. Test de hipótesis para el potasio.....	58
Anexo E. Test de hipótesis para los hongos.....	59
Anexo F. Test de hipótesis para las bacterias	60
Anexo G. Test de hipótesis para fijadores de nitrógeno	61
Anexo H. Test de hipótesis solubilizadores	62
Anexo I. Test de hipótesis del calcio.....	63
Anexo J. Test de hipótesis fósforo.....	¡Error! Marcador no definido.

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2- 1: Composición del fruto de cacao.....	18
Figura 2- 2: Tipos de cacao.	21
Figura 2- 3: Cacao tipo criollo.	22
Figura 2- 4: Cacao tipo forastero.....	22
Figura 2- 5: Cacao tipo híbrido.....	23
Figura 2- 6: Moniliasis en diferentes estados de desarrollo.....	24
Figura 2- 7: Mazorca infectada por <i>Phytophthora</i>	25
Figura 2- 8: Fruto con síntomas de la enfermedad escoba de bruja.....	26
Figura 2- 9: Características de los suelos con cultivo de cacao.	26
Figura 2- 10: Transformación de los restos orgánicos en el perfil del suelo. Procesos de descomposición, mineralización y humificación.	30
Figura 4- 1: Registro de precipitaciones periodo de estudio año 2012 -2013, municipio de Yaguará-Huila. Fuente: Estación Metereológica Yaguará.	39
Figura 4- 2: Parámetros p H analizado.....	42
Figura 4- 3: Parámetros magnesio analizado.....	43
Figura 4- 4: Parámetros potasio analizado.....	43
Figura 4- 5: Parámetro calcio analizado.....	43
Figura 4- 6: Parámetro fósforo analizado.....	44
Figura 4- 7: Población registrada de hongos.....	46
Figura 4- 8: Población registrada de bacterias heterótrofas.	47

Figura 4- 9:	Población registrada de microorganismos fijadores de nitrógeno.....	47
Figura 4- 10:	Población registrada de microorganismos solubilizadores de fosfatos...	47

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2- 1: Composición química de la cáscara de la mazorca de cacao.	18
Tabla 2- 2: Composición química del grano de cacao.....	19
Tabla 2- 3: Composición química del mucílago de cacao.	19
Tabla 2- 4: Requerimientos eco fisiológicos y de manejo para el cultivo de cacao en Colombia.	27
Tabla 2- 5: Micro y meso-organismos representativos del suelo.....	29
Tabla 3- 1: Caracteres diferenciales de los grupos de cacao: criollo, forastero y trinitario (híbrido de las dos anteriores).....	33
Tabla 4- 1: Peso de las cáscaras gruesas de cacao.....	37
Tabla 4- 2: Peso de las cáscaras delgadas de cacao.	37
Tabla 4- 3: Frecuencia de vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao.	38
Tabla 4- 4: Parámetros químicos analizados.	39
Tabla 4- 5: Relaciones catiónicas.	41
Tabla 4- 6: Aplicación de prueba de hipótesis – parámetros químicos.....	42
Tabla 4- 7: Parámetros biológicos analizados.....	45
Tabla 4- 8: Aplicación de prueba de hipótesis – parámetros biológicos.	46

Introducción

En Colombia, el cacao es uno de los productos que cuentan con ventajas comparativas derivadas de condiciones naturales para su producción, como las características del clima y de los suelos, y su carácter de sistema agroforestal que ayuda a conservar el medio ambiente. (**Espinal et al.** 2005).

A raíz de la importancia económica del cacao para Colombia el Gobierno Nacional lo ha considerado como un producto con amplio potencial de mercado interno y externo; tanto así que la meta del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) para el año 2020 consiste en aumentar las áreas de siembra.

Consecuencia de lo anterior, en el sistema de producción de cacao se genera un gran volumen de residuos, que generalmente quedan acumulados en el cultivo, circunstancia que se ha traducido en serios problemas ambientales a nivel del suelo por acumulación de materiales conformándose un sustrato para la propagación de microorganismos patógenos al cultivo (**Medeiros**, 1977; **Parra**, 1994), así mismo la forma cóncava de las cáscaras partidas, en épocas de lluvias son depósito de agua que facilitan la multiplicación de insectos, además son foco para la propagación de *Phytophthora* spp, causa principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera (**López et al.**, 1984).

Con base en lo anterior en el presente trabajo se establecerá el efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao sobre algunas propiedades químicas y biológicas en el suelo de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila). Lo anterior con el fin de comprobar si éste vertimiento en el suelo favorece o desfavorece algunas propiedades del mismo.

1.El problema y su contexto

1.1 Contexto de la investigación

En el sistema de producción de cacao se genera un gran volumen de residuos, así: cada tonelada de semilla seca representa cerca de 10 toneladas de cáscara del cacao (peso fresco), y aproximadamente 40 litros de pulpa se pueden obtener de 800 kilos de semillas frescas (**Mejía & Argüello**, 2000) y de 1000 kg de fruta fresca de cacao se pueden obtener aproximadamente 32 - 47 kg de almendras crudas de cacao fermentadas y secas (**Augstburger et al.**, 2000). Es decir que por cada kilogramo de semilla seca se producen 10kg de cáscara de cacao fresca y por cada kilogramo de semilla fresca se producen 50ml de exudado. Para los fines de este trabajo se registran en la **tabla 4-3**.

Las cáscaras y el exudado derivados del *Theobroma cacao* son materias primas que debido al poco conocimiento que se tiene actualmente sobre sus posibles usos por parte de los cacao-cultores, éstos optan por acumularlos y depositarlos en una sola área del cultivo sin realizarles algún tipo de tratamiento o proceso, porque a la vez ellos carecen de técnicas y métodos que favorezcan el aprovechamiento de los mismos. Su disposición final en el terreno de cultivo trae a su vez una descomposición, hasta que se fermenta espontáneamente y se constituye en un sustrato para la propagación de microorganismos patógenos al cultivo (**Medeiros**, 1977; **Parra**, 1994), como también, la forma cóncava de las cáscaras, en épocas de lluvias son depósito de agua que facilitan la multiplicación de insectos, que además son foco para la propagación de *Phytophthora* spp., causa principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera (**López et al.**, 1984).

Razón por la cual la descomposición de estos residuos orgánicos se constituye en un proceso clave y limitante en los ciclos de macronutrientes, cuyos mecanismos de funcionamiento varían entre distintos sistemas, constituyéndose probablemente como el proceso ecológico más complejo de la biosfera (**Sinsabaugh et al.**, 2002). Según **Fassbender & Bornemiza** (1994), los aspectos más importantes del ciclo de los residuos vegetales son: Cantidad de los residuos vegetales agregados a cada unidad del suelo en un cierto período, composición química de los residuos, liberación de CO₂ y elementos químicos, proceso de descomposición y humificación de los residuos.

Por las consideraciones anteriores, es necesario determinar el efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao en el suelo, en donde se tomará una finca empleando el tipo de muestreo aleatorio simple para los respectivos estudios a realizar.

1.2 Descripción del Área problema

El territorio del Municipio de Yaguará, está situado sobre los valles del río del mismo nombre y el Magdalena, en la parte centro del Departamento del Huila, en la vertiente oriental de la cordillera central. La extensión total del territorio es de 329 km², equivalente al 1.6% del área Departamental. El Municipio de Yaguará comprende una extensión de 32.900 hectáreas, de las cuales 105.7 hectáreas corresponden al casco urbano y las 32.794,3 hectáreas restantes al área rural (**POT**, 2012). El reglón que concierne a este trabajo es el sector agrícola enmarcado en la producción de cacao, según **AGRONET** (2013) en su base de evaluaciones municipales en 2011 éste municipio reportó un área sembrada de 66 ha, área cosechada de 64 ha y una producción de 28,16 ton, lo que indica un rendimiento de un 0,4 ton/ha por debajo del promedio departamental que en ese año se situó en 0,5 ton/ha y del nacional en 0,6 ton/ha. Esto es debido a la falta de capacitación y transferencia de tecnología, situación que ha llevado a la acumulación de los subproductos del beneficio del cacao en el mismo cultivo.

Para este caso se habla del depósito aproximado para el año 2011 de 281,6 toneladas de cáscara en el municipio de estudio y de 29957,44 litros de exudado, que en términos de área afectada para el municipio se contempla del 0,2%.

En el departamento se vienen promoviendo políticas de fortalecimiento de la cadena agrícola del cacao, a partir de la promoción y desarrollo de estrategias que permitan el mejoramiento de la productividad y competitividad, desarrollo tecnológico, disminución de los costos de producción, desarrollo de convenios que beneficien a todos los agentes del sector productivo y mejora en la asociatividad en el marco del plan de desarrollo departamental "Huila naturaleza productiva" y la agenda interna de competitividad "Huila 2020", al finalizar el año 2011según **AGRONET** (2013), se registraron 7.303 ha cosechadas con una producción de 3.563 toneladas y un rendimiento de 488 kg/ha. Uno de los principales problemas que ha registrado la cacaocultura en el 2011 en el departamento del Huila, es la baja productividad (488 kg/ha/año), como causa principal identificada se debe a que más del 50% de los cultivos de cacao sobrepasan los 25 años de edad, que asociado a problemas de precios, control de plagas y enfermedades, han ocasionado la pérdida ostensible en la producción de cacao.

Por tal razón, incluido en las políticas más inmediatas del departamento, está el tema de reconversión de cultivos antiguos por clones de alto rendimiento, los que generan mayores beneficios al productor esto indica que las fincas cacaoteras serán más rentables, aumentando su competitividad. El hecho de que el cacao esté incluido en los planes de desarrollo nacional y departamental, es valioso, ya que lo ubica como uno de los productos de gran importancia y promisorios en las políticas económicas nacionales. Además de esto, el cacao está incluido en los planes de comercio internacional, lo que representa una gran responsabilidad para el sector productivo, ya que se debe fortalecer, para llegar a ser competitivo frente a los tratados de libre comercio (**Cárdenas-Miranda**, 2010).

En Colombia, el cacao es uno de los productos que cuentan con ventajas comparativas derivadas de condiciones naturales para su producción, como las características del

clima y de los suelos, y su carácter de sistema agroforestal que ayuda a conservar el medio ambiente. La producción anual de cacao en grano se obtiene del aprovechamiento de alrededor de 133.098 ha cosechadas según **AGRONET** (2013), con una producción de 75.102 ton y un rendimiento de 0,6 ton/ha. Esto representó 751.102 toneladas de cáscaras y 79'895.744 litros de exudado. Las causas del bajo rendimiento obtenido por hectárea actualmente se relaciona con cuatro aspectos que afectan el cultivo: La avanzada edad de las plantaciones sembradas; el tipo de material de propagación utilizado (cacaos híbridos y comunes con bajos niveles de tolerancia a plagas y enfermedades); la baja densidad de árboles en producción por hectárea y; las dificultades para que el agricultor pueda poner en práctica las recomendaciones de manejo integral del cultivo (**FEDECACAO / PRONATTA**, 2004).

De acuerdo a esto el Gobierno Nacional ha considerado al cacao como un producto con amplio potencial de mercado interno y externo; la meta del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) para el año 2021 consiste en aumentar las áreas de siembra hasta llegar a una cifra de 216.141 ha., y alcanzar una producción de 246.000 toneladas, es decir que se producirían 2'460.000 toneladas de cáscara y 261'702.125 litros de exudado.

1.3 Pregunta de Investigación

¿Qué efectos produce el vertimiento de subproductos del beneficio de cacao sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo?.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao sobre algunas propiedades químicas y biológicas en el suelo de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila).

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar algunos cambios en la composición química de un suelo luego del vertimiento de subproductos del beneficio del cacao.
- Determinar algunos cambios en la composición biológica de un suelo luego del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao.

1.5 Justificación

El desarrollo de este trabajo obedece a la necesidad de determinar el efecto producido en el suelo por el vertimiento de subproductos derivados del beneficio del cacao un tema pertinente al contexto, oportuno y estratégico para el momento coyuntural que atraviesa el país en el fortalecimiento de éste cultivo, y a la problemática que ha llegado a ser uno de los temas más imperantes que ha ido cobrando fuerza en los últimos tiempos: la disposición adecuada o uso de los residuos. Frente a este problema la mirada está, hacia los biosistemas integrados, los cuales propenden por la transformación de los residuos orgánicos en productos de valor agregado que involucran los organismos para producir como salida materia y energía (**Chan, 1999; Álvarez-León, 2011**).

Las áreas afectadas por las cuales se amerita este estudio actualmente y en un futuro corresponden a las áreas de siembra, puesto que su efecto se manifiesta en toda la plantación, lo que conllevaría a pérdidas económicas porque la forma cóncava de las cáscaras partidas, en épocas de lluvias son depósito de agua que facilitan la multiplicación de insectos, siendo foco para la propagación de *Phytophthora* spp. (**López et al., 1984**), lo que origina incrementos en los costos de producción por las medidas de manejo que se deben tomar. De igual manera a nivel ambiental se derivarían otros problemas como: erosión del suelo y reducción de la biodiversidad por el manejo inapropiado de los subproductos del beneficio de éste cultivo.

Para ello, **Etter & Villa (2000)** y **Lambin (2001)**, plantean que resulta importante entender, que la transformación de los usos del suelo causados por las actividades antropogénicas produce alteraciones tanto en el componente biofísico de un ecosistema como en el manejo y aprovechamiento de recursos naturales por parte de grupos humanos. Los cambios en los usos del suelo pueden afectar los procesos y los ciclos de nutrientes que se dan en los ecosistemas terrestres, el clima local y regional, el ciclo hidrológico y, pueden causar la disminución de la biodiversidad; además, erosión y pérdida de suelos, entre otros.

En este sentido la capacidad de amortiguamiento del suelo, su capacidad de filtrar y absorber sustancias contaminantes hace que los daños no se perciban hasta una fase muy avanzada. Por esta razón quizás no se haya fomentado la protección del suelo en la misma medida que la protección del aire y el agua. Por lo tanto se convierte en un motivo importante para que se realice un buen seguimiento de este medio. En la actualidad, después de muchos años de malos usos, se ven con más claridad los signos e impactos, y se requieren medidas de respuesta, tanto correctoras (son medidas costosas y en ocasiones no resultan plenamente viables) como preventivas, para no legar el problema a las generaciones futuras (**AEMA, 2002**).

Es así como se destaca la necesidad de determinar el efecto del vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao sobre algunas propiedades químicas y biológicas en el suelo, puesto que su acumulación y el vertimiento de ellos en el suelo causa alteraciones de la capacidad de su uso primario, es decir soporte y fuente de nutrientes

para las plantas, y su productividad, afectando los servicios ambientales que los ecosistemas pueden ofrecer y la diversidad que está presente en el mismo (López,2002).

El entender este efecto, propicia a que estos subproductos (cáscara y exudado) sean considerados y valorados como un recurso más, tendientes a ser investigados en los diferentes campos, bien sea, por citar un ejemplo, en el agroindustrial para la producción de alimentación animal - humana y no visualizarlos como desperdicios, tal como lo plasma la iniciativa educativa, **ZERI** (2011) “una sociedad sin desperdicios generará más empleo, y al mismo tiempo, un incremento de la productividad”.

En concordancia con lo anterior, el presente trabajo al determinar el efecto que causa el vertimiento de estos subproductos en el suelo no solo comprueba el problema planteado sino que desde el análisis de sus resultados, conclusiones y recomendaciones genera una serie estrategias para el mejoramiento del problema. De ser tenidas en cuentas por parte de los cacaocultores y de los entes de administración municipal pueden ser una opción concreta para la generación de empresas y por ende puestos de trabajo.

2. Marco teórico y estado de arte

2.1 Características del *Theobroma cacao* L

El cacao (*Theobroma cacao*) es un arbusto de dos a tres metros de altura que crece en ambientes tropicales pertenece a la familia Sterculaceae. Es un cultivo de tipo permanente con un periodo de vida aproximado de 40 años. En Colombia el cultivo de cacao se masifico comercialmente a partir de materiales de siembra tipo híbrido e hijos de híbridos. El cultivo de cacao en términos generales se puede desarrollar en zonas ubicadas entre 0 y 1.400 msnm, aunque lo óptimo son altitudes entre 400 y 800 m.s.n.m., con temperaturas medias altas (23 - 28 °C), precipitaciones distribuidas a lo largo del año de 1.500 – 2.500 mm y una humedad relativa entre 70 - 80%. Los vientos fuertes no son deseables ya que pueden causar el rompimiento de las ramas disminuyendo el área foliar importante para asegurar una buena producción.(García-Lozano *et al.*, 2006).

El fruto de cacao es de tamaño, forma y color variable, la pared es dura y gruesa. Las semillas de cacao están rodeadas por una pulpa aromática la cual procede de sus tegumentos. La pulpa mucilaginoso está compuesta por células esponjosas parenquimatosas, que contienen células de savia ricas en azúcares (10-13%), pentosas (2-3%), ácido cítrico (1-2%), y sales (8-10%). Durante el proceso de cosecha de las semillas de cacao, la pulpa es removida por fermentación e hidrolizada por microorganismos. La pulpa hidrolizada es conocida en la industria como "exudado". Durante la fermentación la pulpa provee el sustrato para varios microorganismos que son esenciales para el desarrollo de los precursores del sabor del chocolate, los cuales son expresados completamente después, durante el proceso de tostado. Aunque la pulpa es necesaria para la fermentación, a menudo hay más pulpa de la necesaria. El exceso de pulpa, que tiene un delicioso sabor tropical, ha sido usado para hacer los siguientes productos: jalea de cacao, alcohol y vinagre, nata y pulpa procesada. (Mejía & Argüello, 2000).

Algunas posibilidades y como propuesta para un biosistema integrado en función de estos subproductos se presenta en el **Anexo A**.

2.2 Composición del fruto de cacao

En la **figura 2-1**, se aprecia que el fruto de cacao se compone por cáscaras, habas y placentas, que se obtienen cuando se quiebran los frutos al retirar los granos (Navarro & Mendoza, 2009).



Figura 2- 1: Composición del fruto de cacao. Fuente: **Navarro & Mendoza** (2009).

En las siguientes **tablas 2-1,2-2,2-3** se presenta la composición química de las cáscaras de la mazorca de cacao, la composición química del grano de cacao y la composición química del mucílago de cacao respectivamente.

Tabla 2- 1: Composición química de la cáscara de la mazorca de cacao.

Componente	% p/p
Humedad	85
Proteína	1,07
Minerales	1,41
Grasa	0,02
Fibra	5,45
Carbohidratos	7,05
N	0,171
P	0,026
K	0,545
Pectinas	0,89

Fuente: **Mejía & Argüello** (2000).

Tabla 2- 2: Composición química del grano de cacao.

Componente	% p/p
Manteca de cacao	54
Proteína	11.5
Ácidos orgánicos y aromas	9.5
Celulosa	9
Ácidos tánicos y color	6
Agua	5
Sales minerales	2.6
Teobromina	1.2
Azúcares	1
Cafeína	0.2

Fuente: **Mejía & Argüello** (2000).

Tabla 2- 3: Composición química del mucílago de cacao.

Componente	% p/p (base húmeda)
Agua	79.2 – 84.2
Proteína	0.09 – 0.11
Azúcares	12.50 – 15.9
Glucosa	11.6 – 15.32
Pectinas	0.9 – 1.19
Ácido cítrico	0.77 – 1.52
Cenizas	0.40 – 0.50

Fuente: **Mejía & Argüello** (2000).

2.3 Beneficio del cacao

Según **Mejía & Argûello** (2000), el proceso de beneficio de cacao comprende las etapas de desgrane, fermentación y secado.

- *Desgrane:* involucra la partida de las mazorcas empleando un machete o mazo en forma perpendicular a su mayor diámetro, para luego extraer los granos de la placenta en forma manual. El tiempo de desgrane (tiempo transcurrido entre la toma de mazorca del árbol y la extracción del grano) afecta el proceso de fermentación, razón por la cual éste debe variar entre uno y dos días, porque cuando se emplea un mayor tiempo origina el inicio de la fermentación dentro de la mazorca.

- *Fermentación:* proceso que se lleva a cabo en fermentadores, dura entre 7 y 8 días en los cuales la masa de cacao se voltea con el fin de airearla y lograr una fermentación uniforme. El objeto de éste proceso es desprender los granos de la pulpa mucilaginosa que los protege, provocar la muerte del embrión para impedir la germinación de los granos y desencadenar modificaciones bioquímicas en el interior de los cotiledones que se traducen en un aumento de volumen, aparición del color pardo, disminución del sabor amargo y de la astringencia, permitiendo de esta manera el desarrollo de los precursores del aroma.

Según **Augstburger et al.** (2000), en “Sinopsis del proceso de fermentación, expone lo siguiente:

- 1er día: (Pulpa muy ácida (pH 3,5), Masa fermentante de color blanco, pH 6,5 del interior de la semilla, Interior de la semilla de color violeta, No hay desarrollo de calor, Olor agridulce, aromático.

- 3er - 4º día: Masa fermentante está ácida (pH 4,5), Masa fermentante de color café claro, pH 4,5 del interior de la semilla, Interior de la semilla de color violeta, sus bordes de color café, Aumento de temperatura de la masa fermentante a 45 - 50°C, Fuerte olor a ácido acético.

- 5º - 7º día: (Masa fermentante está acidulada (pH 5,5), Masa fermentante de color café, pH 5,5 del interior de la semilla, Interior de la semilla color café, Temperatura de la masa fermentada se reduce a 40°C, El olor a ácido acético es menos fuerte.”

Por otro lado **Enríquez-Gustavo** (1985), indica que en las primeras horas de la fermentación la emisión de jugos azucarados de las almendras de cacao es bastante, puesto que proceden del inicio de la descomposición de la pulpa que rodea las semillas o hilio de la mazorca. Estima que la producción está alrededor de 4 a 6 litros por cada 100kg de masa, y que durante las 6 horas siguientes, se obtiene un poco menos de la

mitad (casi 3 Litros por cada 100kg de masa) de jugos. Ésta emisión cesa casi completamente cuando han transcurrido 24 horas”.

- **Secado:** su objetivo es disminuir el contenido de humedad, la acidez y la astringencia logrando el desarrollo del color chocolate característico de los granos bien fermentados.

2.4 Tipos de cacao

Según **Pinzón-Useche & Rojas-Ardila (1998)** existen tres tipos de cacao desde el punto de vista de la botánica que son: los criollos, los forasteros y los trinitarios (híbridos), en la **Figura 2-2**.



Figura 2- 2: Tipos de cacao. Fuente: **Arroyabe (2011)**

- **Los criollos:** son los más finos, se caracterizan por su sabor y aroma. El tamaño y forma de la mazorca varía según los tipos regionales, en nuestro país es común que el fruto sea alargado, un poco más ancho cerca del pedúnculo y en el extremo apical es delgado, tal como se ilustra en la **figura 2-3**.



Figura 2- 3: Cacao tipo criollo. Fuente: **Navarro & Mendoza** (2009)

- *Los forasteros*: la tendencia del fruto tiende a ser de apariencia amelonada, liso con poca rugosidad y surcos poco profundos, la cáscara a menudo es bastante gruesa. (**Figura 2-4**). El grano de cacao de este tipo suele ser más pequeño que el de los criollos, su almendra de color violeta oscuro y mucílago ácido.



Figura 2- 4: Cacao tipo forastero. Fuente: **Navarro & Mendoza** (2009)

- *Los híbridos*: resultan del cruzamiento sexual de dos árboles; usualmente dirigido por el hombre luego de un proceso de selección. Las mazorcas resultan ser de muchas formas y colores, las semillas son más grande que la de los criollos y forasteros. (**Figura 2-5**).



Figura 2- 5: Cacao tipo híbrido. Fuente: **Pinzón-Useche & Rojas-Ardila** (1998).

2.5 Principales enfermedades que afectan al cacao

Pinzón-Useche & Rojas-Ardila (1998), detallan que la acción de los patógenos se ve reflejada en todos los seres vivos, y en el cacao el efecto negativo de ellos se evidencia en la productividad, puesto que causa el deterioro de órganos a nivel de la planta o la muerte de las mismas.

En este sentido las enfermedades de mayor ocurrencia en el cacao son las causadas por hongos. Al ser de este origen (fungoso) se ven favorecidas por algunas condiciones ambientales como la alta humedad del aire (humedad relativa) y el exceso de sombra.

De acuerdo con los trabajos de investigación realizados por **Pinzón-Useche** (2012), entre las principales enfermedades que afectan al cacao son la moniliasis, phythophthora y escoba de bruja.

2.5.1 La monilia del cacao

Enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, patógeno que ataca a los frutos de cacao a cualquier edad, produciendo millones de esporas que se multiplican rápidamente cuando el cultivo presenta un mal manejo y cuando las condiciones ambientales son favorables para su reproducción, llamada también pasmo, neva hielo, pudrición acuosa, pringue y ceniza (**Pinzón-Useche**, 2012).

- Síntomas

En los pepinos o frutos jóvenes, de menos de tres meses se deforman o abultan y presentan manchas negras que terminan cubriendo todo el fruto. Aquellas mazorcas de más de tres meses presentan puntos oscuros brillantes con un halo amarillento en ocasiones, lo que da la apariencia de una falsa madurez. Cuando se incrementan estos síntomas aparece una mancha de color marrón y luego un polvillo blanco que se va tornando gris con aspecto de ceniza. Éste denota la presencia de conidias maduras responsables de la producción de la enfermedad. A nivel interno se forman una sola masa compacta de pulpa y granos de cacao, pegados unos a otros, con apariencia de pudrición puesto que los tejidos están llenos de una sustancia acuosa viscosa en proceso de descomposición de color café oscuro (Pinzón-Useche, 2012). En la **figura 2-6**, se observa la enfermedad en diferentes estados de desarrollo.



Figura 2- 6: Moniliasis en diferentes estados de desarrollo. Fuente: FEDECACAO/PRONATTA (2004).

2.5.2 Phythophthora

Enfermedad causada por el hongo *Phytophthora* spp., en cacao se han registrado cinco especies patógenas la *P. palmivora*, *P. megakarya*, *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. nicotianaevar. P. parasitica*. El hongo ataca raíces, hojas, tallos, frutos de cacao, cojines florales, chupones y en caso extremo causa el cáncer del tronco. Enfermedad conocida también con el nombre de mazorca negra, pudrición negra, parda o cáncer del tronco (Pinzón-Useche, 2012).

- Síntomas

Esta enfermedad ataca a los frutos en cualquier edad, presentando una mancha de color chocolate o negra con bordes definidos. Las mazorcas afectadas son blandas y menos pesadas que las normales, presentando una apariencia acuosa. (**Figura 2-7**). En la raíz se evidencia muerte de tejido es decir necrosamiento, y cuando invade todo el perímetro

radical afecta los vasos comunicantes y por consiguiente deja de absorber los nutrientes y el agua causando la muerte del árbol (Pinzón-Useche, 2012).



Figura 2- 7: Mazorca infectada por Phytophthora. Fuente: **Pinzón-Useche & Rojas Ardila**(1998).

2.5.3 Escoba de bruja

Enfermedad causada por el hongo *Crinipellis pernicioso*, afecta los árboles en cualquier estado de desarrollo, atacando los tejidos meristemáticos, es decir los de crecimiento excepto los de la raíz.

- Síntomas

Los síntomas más frecuentes se presentan en los puntos de crecimiento de ramas, cojines florales y frutos. En las ramas y yemas terminales y axilares se presenta proliferación de brotes originando estructuras abultadas con varias ramas hipertrofiadas. En los cojines flores no nacen mazorcas sino brotes vegetativos a manera de ramas con apariencia de escoba. A nivel de los frutos pueden ser atacados en cualquier estado de su desarrollo presentando síntomas similares a los de monilia con la diferencia en que la mancha color chocolate es un poco más oscura y menos brillante, es así como se en la **figura 2-8** se aprecia dicha enfermedad.



Figura 2- 8: Fruto con síntomas de la enfermedad escoba de bruja. Fuente: **Pinzón-Useche & Rojas-Ardila(1998)**.

2.6 Cualidades y características de los suelos con cultivos de cacao

Los suelos deben reunir ciertas características como: suelos preferiblemente profundos y bien drenados, pero a su vez con buenas condiciones de retención de humedad, buen contenido de materia orgánica y pH entre 5.5 y 7.5. (**García-Lozano et al., 2006**), tal como se aprecia en la **figura 2-9**, en donde se exhiben las características y su requerimiento para el cultivo de cacao, así mismo en la **tabla 2-4**, se presentan los requerimientos eco-fisiológicos para el mismo cultivo y su manejo.

CARACTERÍSTICA		REQUERIDA PARA EL CULTIVO
Topografía		<i>Plana a ondulada</i>
Rango de Altitud		<i>0 a 1.000 m.s.n.m</i>
Clima	Temperatura variación anual	<i>23 - 30°C Promedio 25 °C</i>
	Precipitación variación anual	<i>1.500 - 2.500 m.m.</i>
	Distribución períodos de lluvia	<i>Constante en el año- Bimodal.</i>
	Humedad relativa	<i>75- 85%</i>
	Vientos	<i>Baja tolerancia a vientos</i>
Suelo	PH	<i>4,5 - 6.8</i>
	Textura	<i>Franco Arcilloso - Arenoso</i>
	Estructura	<i>Granular</i>
Nivel freático		<i>Mayor de 1 metro</i>
Fertilidad		<i>De acuerdo al Análisis de suelos.</i>

Figura 2- 9: Características de los suelos con cultivo de cacao. Fuente: **Valenzuela (2012)**.

Tabla 2- 4: Requerimientos eco fisiológicos y de manejo para el cultivo de cacao en Colombia.

Cualidad de la tierra	Factor de diagnóstico	Unidad	Clasificación por factores				
			Sumamente apta	Moderadamente apta	Marginalmente apta	No apta	
			a1	a2	a3	n	
1	Altitud						
		a.s.n.m.	m	400-800	0-400y800-1000	1000-1200	>1200
2	Régimen de temperatura						
		Temperatura media mensual	°C	24 a 28	28 a 30 y 24 a 20	30 a 32 y 20 a 18	<18 y >32
		Máx y Mín	°C	<9			>9
3	Humedad disponible (humedad total)						
		Precipitación anual	mm	1800-2600	2600-3200 y 1800-1500	3200-3800 y 1500-1200	<1200 y >3800
4	Oxígeno disponible en la rizosfera						
		Drenaje natural	Clase	4,5		3,7	1,2,6
5	Condición de enraizamiento						
		Profundidad efectiva	cm	>100	50-100	25-50	<25
6	Posibilidad de laboreo y manejo del cultivo	Clases	Categoría	1,2,3		4	No califica
7	Toxicidad del suelo						
		Exceso aluminio	%saturación	<40			>40
		Exceso sales	Sodización	No sódicos			sódicos
8	Nutrientes disponibles						
		Acidez	pH	5,5 - 6,5	6,8 - 7,0 y 5,5 - 5,0	7,0 - 8,0 y 5,0 - 4,5	>8 y <4,5
		Materia orgánica	% total	>5	4 a 5	3 a 4	<3
		P ₂ O ₅	kg/ha	>69	69-57	57-46	<46
		K	meq/100 g	>0,3			<0,15
		Ca	meq/100 g	3,5 – 4	4 a 8	8 a 12	<2 y >12
		Mg	meq/100 g	1 a 1,5			<1
		Ca/Mg	meq/100 g	(3:1)			>(3:1)

Clases de drenaje: 1. Muy pobremente drenado, 2. Pobremente drenado, 3. Imperfectamente drenado, 4. Moderadamente drenado, 5. Bien drenado, 6. Excesivamente drenado, 7. Moderadamente excesivo. Posibilidades de laboreo en el cultivo: 1. Fácil laboreo (0 – 25%), 2. Moderado laboreo (25-50%), 3. Difícil laboreo (50-75%), 4. Conservación (75-100%).
Fuente: **SIG-CORPOICA** (2004).

2.7 El suelo como soporte y fuente de nutrientes para las plantas

López (2002), reporta que el suelo es el soporte de las actividades del hombre dirigidas al aprovechamiento de su uso potencial productivo para la generación de biomasa. En este sentido se hace necesario hablar de la calidad del suelo, para el alcance de la sostenibilidad de los sistemas de producción basados en el aprovechamiento del suelo en su función primaria: como despensa y soporte de las plantas (productores de biomasa). La calidad del suelo puede ser definida como la capacidad del suelo para funcionar de una manera para producir cultivos, animales y seres humanos saludables, resistir la degradación y para minimizar impactos ambientales, por tanto entra a ser el producto de componentes químicos, físicos y biológicos del suelo y sus interacciones.

Hoy en día la actividad agrícola genera gran cantidad de desechos, que en la mayoría de los casos van a parar al suelo y éste actúa como medio receptor. El aporte en cantidades superiores a las que puede asimilar produce efectos que se manifiestan en alteraciones de la capacidad de su uso primario, es decir como soporte y fuente de nutrientes para las plantas, para la producción de biomasa, afectando así la calidad del mismo (**López**, 2002).

2.8 Factor organismos en el suelo

Labrador (2008), destaca que el suelo además de ser soporte y fuente de nutrientes de las plantas es el hábitat de una gran variedad de organismos, es decir que la dinámica de la vida que se da en él asegura la multiplicidad de los servicios ecológicos.

Por lo mencionado anteriormente puede decirse que la cantidad como diversidad de organismos en el suelo, varía de acuerdo a las condiciones de uso y manejo del suelo, a algunas propiedades tanto físicas como químicas y a condiciones ambientales.

Por consiguiente los organismos del suelo se constituyen en el agente principal del ciclo de los nutrientes, regulan la retención del carbono y la emisión de gases efecto invernadero, la dinámica de la materia orgánica del suelo, modifican la estructura material del mismo y los regímenes del agua, de esta manera los organismos mejoran la eficacia para el suministro y asimilación de los nutrientes por parte de las plantas. (**Labrador**, 2008).

Es así como la biota del suelo la compone el conjunto de la fauna y la flora que vive en él; la gran mayoría de los organismos del suelo establecen una permanente competencia por nutrientes, oxígeno, humedad y espacio. Los organismos que integran la meso y macro-biota del suelo cumplen una función fundamental en la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos en él, aportando considerables cantidades de biomasa al suelo. **Chamorro** (1989). En la **tabla 2-5**, se presenta algunos grupos de micro y meso-organismos representativos que pueden encontrarse en diversos suelos, y, en la **figura 2-10**, se ilustra los procesos de descomposición, mineralización y

humificación que se dan en el suelo, procesos muy importantes a nivel edáfico ya que permiten la transformación de los restos orgánicos.

Tabla 2- 5: Micro y meso-organismos representativos del suelo.

Grupo microbial	Ejemplo	Número (cantidad por g suelo)
Virus	Mosaico del tabaco	$10^{10} - 10^{11}$
Bacterias	<i>Pseudomonas</i>	$10^8 - 10^9$
Actinomicetos	<i>Streptomyces</i>	$10^7 - 10^8$
Hongos	<i>Mucor</i>	$10^5 - 10^6$
Algas	<i>Chlorella</i>	$10^3 - 10^6$
Protozoarios	<i>Euglena</i>	$10^3 - 10^5$
Nematodos	<i>Pratylenchus</i>	$10^1 - 10^2$
Lombrices	<i>Eisenia</i>	?

Fuente: **Sylvia et al.** (1999).

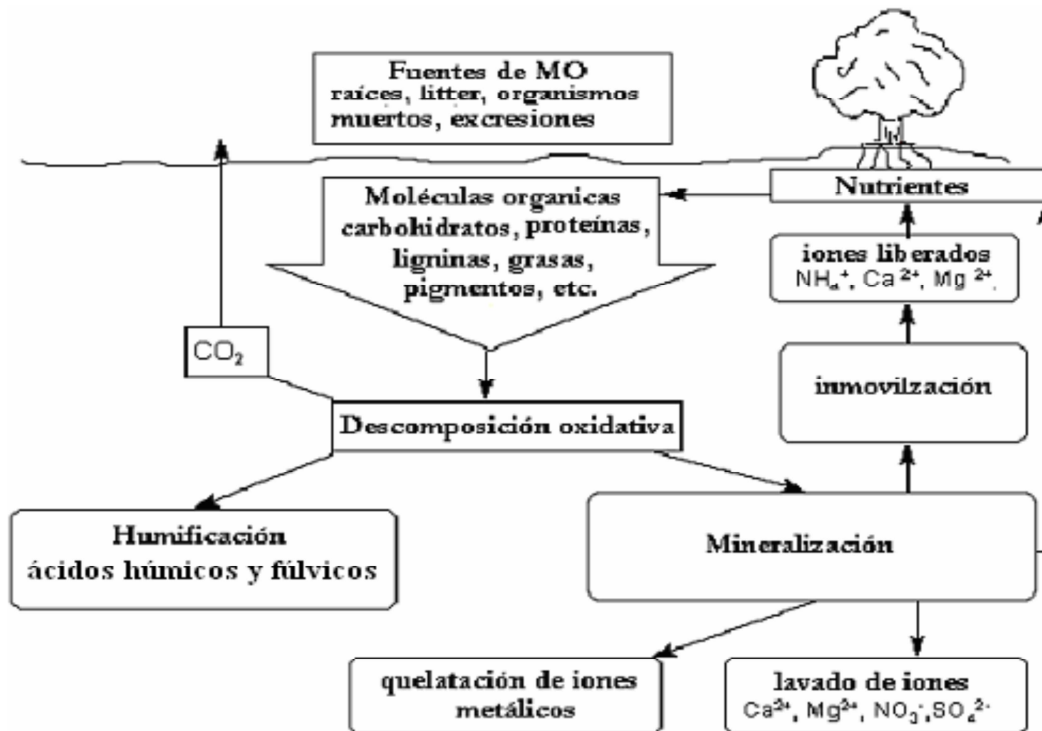


Figura 2- 10: Transformación de los restos orgánicos en el perfil del suelo. Procesos de descomposición, mineralización y humificación. Fuente: **Zapata** (2006).

En este contexto los restos de materia orgánica son fragmentados por la macro-fauna lo que facilita la biodegradación a cargo de bacterias y hongos del suelo, proporcionando con la mineralización de estos sustratos carbonados nutrientes inorgánicos fundamentales para el desarrollo vegetal. (**Labrador**, 2008).

Silva et al. (1992), reporta que el aporte de materia orgánica en el suelo se constituye en una fuente de alimentos y energía para los microorganismos y fauna, y sirve como fuente de N, P, y S a través de su mineralización por los microorganismos del suelo.

2.9 El magnesio, el potasio, el calcio y el fósforo en el suelo

2.9.1 Magnesio

Según **Barber**(1995), el magnesio se encuentra en el suelo en tres fracciones como:

- Cation intercambiable en el complejo de cambio: esta forma es la más importante, pues permite determinar el magnesio disponible.

- Constituyente de minerales: en esta el magnesio es un componente de los minerales primarios del suelo. Como el proceso de descomposición de minerales es muy lento, esta forma de magnesio no está disponible para las plantas.
- En la solución del suelo: en esta forma se encuentra en equilibrio con el magnesio intercambiable, por lo tanto está disponible para las plantas.

Lo citado sin tener presente las pequeñas cantidades de magnesio que se hallan en las fracciones orgánicas.

2.9.2 Potasio

Barber (1995), expone que el potasio en el suelo generalmente se encuentra en cuatro formas:

- Potasio estructural: se encuentra en el suelo en la estructura cristalina de los feldespatos, arcillas y micas.
- Potasio intercambiable: es fracción disponible del potasio en el suelo, que las plantas pueden extraer fácilmente.
- Potasio fijado: atrapado en el espacio interior de las arcillas.
- Potasio en la solución del suelo: esta forma está inmediatamente disponible para las plantas. Sin embargo, las cantidades presentes en la solución del suelo son muy pequeñas.

Esta clasificación es con base en la disponibilidad por parte de la planta para la absorción de potasio, así mismo la disponibilidad del potasio varía de acuerdo con las condiciones ambientales y el tipo de suelo (**Barber**, 1995).

2.9.3 Calcio

Este elemento forma compuestos insolubles con otros elementos en el suelo, y la cantidad del mismo depende del material parental así como de la aplicación de enmiendas y del grado de meteorización (**Barber**, 1995). Su concentración en el suelo generalmente supera las necesarias para un adecuado crecimiento de las plantas, aunque su absorción por parte de ellas es genéticamente controlada (**Havlin et al.** 1999).

De acuerdo con la revisión realizada por **Havlin et al.** (1999), algunos factores del suelo que permiten evaluar la disponibilidad del calcio para las plantas son:

- El pH: por lo general cuando el pH de un suelo es alto contiene más calcio disponible.
- La capacidad de intercambio catiónico (CIC): una mayor CIC indica una disponibilidad mayor de calcio puesto que el suelo presenta mayor capacidad para retener y absorber el calcio.
- La presencia de iones competidores: compete con sodio, potasio y magnesio, por lo que la aplicación de éstos en mayor cantidad disminuye la absorción de calcio por parte de las plantas.

2.9.4 Fósforo

Según **León** (2001), en el suelo el fósforo se halla en forma orgánica como inorgánica y su solubilidad en el mismo es baja. Los tipos de compuestos en función de este elemento son determinados por el pH del suelo y por la cantidad y el tipo de minerales presentes en el suelo.

Este mismo autor plantea que en suelos ácidos este elemento tiene tendencia a reaccionar con el hierro, aluminio y el manganeso, y en suelos alcalinos su fijación es con el calcio, para lo cual establece que el rango óptimo en función del pH para su disponibilidad máxima es de 6,0 -7,0. Indica igualmente que la deficiencia de este elemento en las plantas ocasiona retrasos en el crecimiento. Adicional cita que la movilidad en el suelo del fósforo es muy limitada de ahí a que las raíces lo absorban de su entorno inmediato, por lo que su concentración resulta ser mayor en ellas que en la misma solución del suelo. Este es un proceso en el que se consume energía por eso condiciones como bajas temperaturas, exceso de agua entre otras, inhiben la actividad de las raíces y por ende la absorción de fósforo.

3. Estrategia metodológica

3.1 Localización y caracterización de la zona

El estudio se realizó en la finca Bruselas 6 en el municipio de Yaguará, situado sobre los valles del río del mismo nombre y el Magdalena, en la parte centro del Departamento del Huila, en la vertiente oriental de la cordillera central, comunicándose con la capital del departamento del Huila a una distancia de 49 Km. La extensión total del territorio del municipio es de 329 km², equivalente al 1.6% del área Departamental (**POT**, 2012).

La finca referenciada está ubicada en la vereda Bajo Vilú, sobre la cota 560 del embalse de Betania, cuenta con 1800 árboles de cacao y en menores cantidades frutales como Palmas de Coco, Palmas de Cachipay, árboles de Guanábanos y de Mango, entre otros.

La finca presenta una superficie de 1,3 ha, los tipos de cacao que se registraron corresponden a criollos, forasteros e híbridos para dicha clasificación se recurrió a los criterios diferenciales entre los grupos de cacao a nivel morfológico de acuerdo con la **tabla 3-1**. La edad de la plantación es de 12 años, tiempo en el que se ha recurrido al empleo de fertilizantes como triple quince, ceniza y gallinaza. Dicho cultivo no ha recibido asistencia técnica ni financiamiento o ayudas. Respecto a la producción reporta 600 kg/ha. Las enfermedades que se evidenciaron fueron moniliasis, mal de machete y mazorca negra, para su determinación se recurrió a los módulos técnicos de cacao de **FEDECACAO/PRONATTA** (2004), en lo referente a enfermedades donde se detallan los síntomas o diagnóstico de las mismas.

Tabla 3- 1: Caracteres diferenciales de los grupos de cacao: criollo, forastero y trinitario (híbrido de las dos anteriores).

Órgano/carácter		Criollo	Forastero	Trinitario
Semilla	Color de cotiledones	Blanco o violeta	Morado excepcionalmente blanco	Morado

Tabla 3-1: (Continuación)

Órgano/carácter		Criollo	Forastero	Trinitario
Semilla	Forma (sección transversal)	Redondeada	Aplanada e intermedia	variable
Fruto	Color estado inmaduro	Rojo o verde	Verde o verde pigmentado	Rojo o verde
	Rugosidad	Rugoso o ligeramente liso	Liso o medio	variable
	Constricción basal	Ausente o ligero	Variable	variable
	Grosor de la cáscara	Delgada o media	Gruesa o media	Variable delgada o media
	Número de semillas	20 -40	20 -60	30 -45

Fuente: **García-Carrión** (2008).

3.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis correspondió el suelo donde son vertidos los subproductos del beneficio del cacao.

3.3 Diseño de muestreo

En la finca de estudio se delimitó un área 50 m² con dimensiones 5x10m. Se hizo uso de la asignación aleatoria simple para la toma de las muestras y de la prueba de hipótesis mediante el programa estadístico megaStat, con 3 repeticiones, con un nivel de confianza del 95%. Los tratamientos fueron:

- Suelo con vertimiento de exudado y cáscara de cacao (T1).
- Suelo sin vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao (patrón).

Las respectivas muestras corresponden a los siguientes tiempos desde el inicio del primer vertimiento:

- T1-1: 5 meses.

- T1-2: 13 meses.

- T1-3: 15 meses.

3.4 Técnicas e Instrumentos

La categoría o variable experimental correspondiente fue el suelo y el factor de experimento correspondió al vertimiento de los subproductos del beneficio de cacao en el suelo.

Es así como en este trabajo la variable experimental (suelo) se expuso a la variable independiente (exudado y cáscara del *T. cacao*) y posteriormente se comparó con la muestra control (sin depósito de subproductos), empleándose el nivel mínimo de manipulación de dos grados: presencia – ausencia (**Hernández-Sampieri et al.**, 2006), con el fin de determinar si el suelo expuesto a la variable independiente difiere del suelo que no fue expuesto.

Para el ello, inicialmente se realizó un análisis de algunas propiedades químicas y biológicas del suelo en un área de 50m² para tener como patrón de referencia del efecto del vertimiento. El tipo de muestreo fue al azar en zig-zag, tomándose 15 sub-muestras a lo largo y ancho del área a una profundidad aproximada de 20cm y mezclando posteriormente en un balde para homogenizar de acuerdo a lo establecido por el **IGAC** (2013), para el muestreo de suelos.

Para los datos de las cáscaras se clasificaron en función del grosor de las mismas y a su vez en grandes, medianas y pequeñas teniendo en cuenta su longitud. De cada una de esta sub-clasificación se tomaron cinco mazorcas las cuales se le registro su debido peso. Aquellas que presentaron cáscara gruesa, **tabla 4-1, (Ecuación (4-1))** y aquellas de cáscara delgada, **tabla 4-2, (Ecuación (4-2))**, estableciéndose un peso promedio para el peso de las cáscaras (**Ecuación (4-3)**), el cual se empleó para determinar el peso de la cantidad de cáscaras depositadas.

Así mismo con el exudado se tomó como referencia lo citado por **Mejía & Argüello** (2000): “*se pueden obtener aproximadamente 40 litros de pulpa provenientes de 800 kilogramos de semilla húmeda*”. Es decir que por cada kilogramo de semilla fresca se producen 0,05 litros de exudado, factor que se empleó para determinar el volumen de vertimiento de exudado (**Tabla 4-3**).

En el área dispuesta se llevó a cabo el vertimiento de los dos subproductos del beneficio de cacao las cáscaras y el exudado, con una frecuencia de vertimiento de 8 a 15 días por

un lapso de 5 meses (**Tabla 4-3**), igualmente se tuvo en cuenta las precipitaciones registradas durante el trabajo (**Figura 4-1**).

Los métodos empleados para conocer el valor de algunas propiedades químicas y biológicas del suelo se citan a continuación de acuerdo a lo efectuado por el laboratorio nacional de suelos del Instituto geográfico Agustín Codazzi, el laboratorio de Recursos Agroambientales de la Universidad Surcolombiana y posteriormente asumidas por el investigador.

Para las propiedades químicas:

- pH: método potenciométrico.
- Magnesio, potasio y calcio: método $\text{NH}_4\text{OAc} - \text{AA}$.
- Fósforo: por el método Bray II.
- Relación Ca/Mg, Relación (Ca + Mg)/K: por relaciones catiónicas.

Los resultados se presentan en la **tabla 4-4**, así como los resultados estadísticos de la hipótesis **tabla 4-6**, y en las variaciones registradas para los parámetros de pH, magnesio, potasio, calcio y fósforo en las **figura 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 4-6** respectivamente.

Para las propiedades biológicas:

- La cuantificación de microorganismos fijadores de nitrógeno, bacterias, hongos y solubilizadores de fosfato: método de conteo en placa por siembra en superficie.

Los resultados se presentan en la **tabla 4-7**, así como los resultados estadísticos de la hipótesis **tabla 4-8**, y en las variaciones registradas para los parámetros de hongos, bacterias, fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato en las **figura 4-6, 4-7, 4-8, 4-9 y 4-10** respectivamente.

4. Resultados y Discusión

Las mazorcas de cacao dispuestas para este trabajo correspondieron a los tipos hallados en finca Bruselas 6 del municipio de Yaguará en el departamento del Huila, como fueron híbridos, forasteros y criollos de acuerdo a los parámetros citados en la **tabla 3-1**.

Las **tablas 4-1 y 4-2**, reportan información del peso de las cáscaras en función de su grosor y en la **tabla 4-3**, se presenta la frecuencia del vertimiento y la cantidad de subproductos del beneficio de cacao depositados al suelo.

Tabla 4- 1: Peso de las cáscaras gruesas de cacao.

Tamaño de las mazorca	Longitud (cm)	Peso (kg)
Grande	≥ 20	1,1
Mediano	15 a 19	0,65
Pequeña	10 a 14	0,375

$$\bar{X} = \frac{1,1 + 0,65 + 0,375}{3} = 0,7 \text{ kg promedio cáscara gruesa.} \quad (4-1)$$

Tabla 4- 2: Peso de las cáscaras delgadas de cacao.

Tamaño de las mazorca	Longitud (cm)	Peso (kg)
Grande	≥ 20	0,6
Mediano	15 a 19	0,375
Pequeña	10 a 14	0,250

$$\bar{X} = \frac{0,6 + 0,375 + 0,250}{3} = 0,4 \text{ kg promedio cáscara delgada} \quad (4-2)$$

Promedio peso de la cáscara de cacao a tener en cuenta

$$\bar{X} = \frac{0,7 + 0,4}{2} = 0,55 \text{ kg} \quad (4-3)$$

Tabla 4- 3: Frecuencia de vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao.

Mes	Frecuencia	Cantidad de mazorcas recolectadas	Masa fresca de cacao (kg)	Cantidad de vertimiento de los subproductos del beneficio	
				Cáscaras (kg)	Exudado (L)
1	1	389	85,5	213,95	4,275
	2	394	86,6	216,7	4,33
	3	391	86	215,05	4,3
	4	397	87,3	218,35	4,365
2	1	394	86,7	216,7	4,335
	2	405	89	222,75	4,45
	3	402	88,5	221,1	4,425
	4	398	87,5	218,9	4,375
3	1	390	85,8	214,5	4,29
	2	378	83,2	207,9	4,16
4	1	376	83	206,8	4,15
	2	373	82	205,15	4,1
5	1	391	86	215,05	4,3
	2	386	85	212,3	4,25
Total		5464	1202,1	3005,2	60,105

Los datos registrados en la **tabla 4-3**, indican que en el suelo destinado para determinar el efecto de los subproductos del beneficio de cacao se vertió aproximadamente tres toneladas de cáscara de cacao (peso fresco) y 60 litros de exudado.

Otros datos considerados son los referentes a las precipitaciones presentadas en el municipio de Yaguará (Huila), durante el tiempo de trabajo (**Figura 4-1**), puesto que este factor influye en el proceso de descomposición del material orgánico.

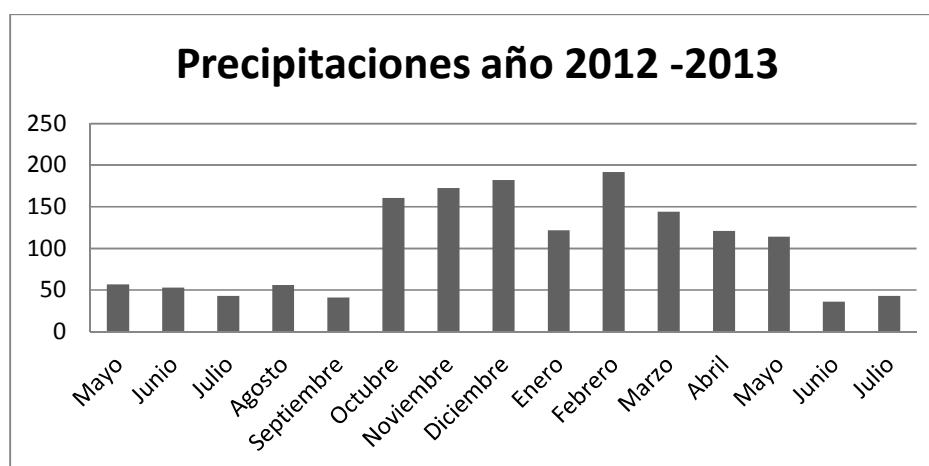


Figura 4- 1: Registro de precipitaciones periodo de estudio año 2012 -2013, municipio de Yaguará (Huila). Fuente: Estación Metereológica de Yaguará.

4.1 Caracterización química

En la **tabla 4-4**, se presenta la información correspondiente a los resultados de las propiedades químicas del suelo objeto de estudio.

Tabla 4- 4: Parámetros químicos analizados.

Parámetros químicos	Unidad	Patrón	Tratamiento T1		
			T1- 1	T1- 2	T1- 3
pH	-	8,09	6,55	6,30	6,2
Magnesio (Mg)	Cmol+.kg-1	4,81	2,27	2,13	2,11
Potasio (K)	Cmol+.kg-1	1,64	0,06	0,06	0,04
Calcio (Ca)	Cmol+.kg-1	9,47	8,81	8,75	8,76
Fósforo (P)	ppm	100,2	37,1	45,6	45,8

Se presentó una notable variación de las propiedades evaluadas, pH, magnesio, potasio, calcio, fósforo y la relación entre cationes, comportamiento que en este trabajo obedece al proceso de descomposición de los materiales orgánicos depositados en el suelo, rechazando la hipótesis nula para cada uno de los parámetros evaluados, lo cual comprueba el efecto de éstos en el suelo (**tabla 4-6**).

Zapata (2004), quien en su libro química de la acidez, señala que este evento de descomposición, implica la oxidación de los restos orgánicos, en donde inicialmente estos materiales sufren un fraccionamiento que facilita el ataque microbial dándose la descomposición siempre y cuando existan condiciones óptimas como humedad, aireación y temperatura.

Así mismo plantea que la adición de materia orgánica en el suelo puede provocar un incremento o una disminución del pH, dependiendo de la influencia en el balance de protones. Que en suelos alcalinos se presenta una disminución del pH cuando se adiciona material orgánico, siendo éste el efecto ocurrido con el vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao (**tabla 4-4**), esto debido como lo cita el autor en mención a la mineralización del nitrógeno, del azufre y del fósforo orgánico, a la disociación de ligandos orgánicos e hidratación del dióxido de carbono generado en la descomposición de estos materiales.

Esta situación igualmente se debe a la mismas características químicas de los subproductos vertidos, puesto que los porcentajes de humedad son altos para las cáscaras 85% y para el exudado entre 79,2 y 84,2% según **Mejía & Argüello** (2000), lo que facilita aún más su descomposición por parte de los microorganismos y por ende un aumento poblacional como se evidenció en los parámetros biológicos lo que lleva a una mayor liberación de exudados por parte de ellos que contribuyen a la acidificación del suelo, así mismo otro factor involucrado son los procesos respiratorios que realizan, como también los metabólicos que generan dióxido de carbono y ácidos orgánicos solubles que se comportan como ácidos libres en el suelo (**Zapata**, 2004).

En cuanto al magnesio, al potasio y al calcio **Sáenz** (1991), indica que la deficiencia de ellos incide, respectivamente, en los contenidos de grasa en las semillas, el fortalecimiento de los tejidos, la formación de la cáscara del fruto y la caída prematura de las hojas y muerte de los brotes. En este estudio fue evidente la notable disminución en estos elementos la razón obedece posiblemente a la misma acidificación del suelo en la cual hay pérdida por lavado de cationes no ácidos como estos (**Zapata**, 2004), así mismo se refiere **León** (2001), en que las deficiencias de magnesio tienden a ocurrir cuando los suelos son ácidos.

Barber (1995), explica que en suelos de bajo pH, la solubilidad del magnesio tiende a disminuir, indicando igualmente que en esta condición del suelo aumenta la tendencia de lixiviación del mismo, la razón expuesta es a que tienen menos sitios intercambiables.

El potasio según **Barber** (1995), indica que el pH del suelo al bajar reduce la tendencia a la fijación de potasio debido según el autor a la presencia de polímeros de hidroxialuminio que ocasionan éste efecto, caso que posiblemente ocurrió en este trabajo.

En la **figura 4-6** se aprecia que el fósforo presentó una reducción drástica, la muestra patrón registró 100,2 ppm y posteriormente arrojó un registro de 37,1 ppm, este

comportamiento inicial pudo obedecer a la inmovilización, la cual se presenta cuando las formas disponibles de fósforo son consumidas por microorganismos, es decir, que el fósforo se convierte en fósforo orgánico con representación en la biomasa, el cual no es disponible (**Fernández et al.**, 2005) y lo que se registró en los resultados fue en función del fósforo disponible en el suelo. Así mismo este descenso también pudo haber ocurrido por la reacción del fósforo soluble que había inicialmente con iones como el calcio, el aluminio o el hierro lo cual produce su precipitación, disminuyendo por ende su disponibilidad. (**Fernández et al.**, 2005). Posteriormente se observó un aumento y se encontró una relación proporcional, posiblemente debido al grupo de organismos solubilizadores los cuales hacen que se solubilice el fósforo a partir de la producción de ácidos orgánicos haciendo solubles las formas insolubles de fosfatos y mejorando así su disponibilidad (**Vera et al.**, 2002).

El orden que siguieron los cationes intercambiables de acuerdo con los resultados fue $Ca > Mg > K$, este orden según **Sadeghian-Khalajabadi** (2012), sigue la serie liotrópica la cual determina la preferencia general de los suelos. Al revisar las relaciones Ca/Mg , $(Ca + Mg)/K$, con los datos registrados en la **tabla 4-4** de cada uno de los cationes se evidenció aumento en ellas (**Tabla 4-5**), éste comportamiento tiene su origen probablemente por la disminución de los valores de magnesio y potasio producto quizás del descenso del pH por el vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao como se explicó anteriormente.

Tabla 4- 5: Relaciones catiónicas.

Relaciones catiónicas	Patrón	Tratamiento T1		
		T1- 1	T1- 2	T1- 3
Relación Ca/Mg	1,97	3,88	4,10	4,15
Relación $(Ca + Mg)/K$	8,71	184,67	181,3	271,75

Al relacionar los resultados obtenidos en estos parámetros con los requerimientos eco fisiológico y de manejo para el cultivo de cacao en Colombia emitido por **SIG-CORPOICA** (2004), se encontró que en el factor de diagnóstico pH, la disminución hallada ubica a este suelo como sumamente apto para el cultivo, puesto que está en el rango de 5,5, a 6,5. Para el factor magnesio está por encima del rango 1 a $1,5 \text{ Cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ para lo cual **Navarro & Navarro** (2003), manifiestan que ante un contenido elevado de magnesio los suelos sufren de deficiencia de potasio, situación que se evidencio en este trabajo, pese a que el nivel de magnesio bajo, sin embargo entra a ser un valor alto para la referencia antes citada, y el de potasio que en la misma referencia lo cataloga como no apto para el cultivo de cacao, pasó de un valor de 1,64 a $0,04 \text{ Cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (**Figura 4-4**). Así mismo éstos autores afirman que este panorama hace que las plantas no puedan usar con éxito el poco potasio que existe en el suelo, ocasionando disminución en su vigor por lo cual su crecimiento se verá retardado.

Vera *et al.* (2000), expone que las características químicas de los suelos, entran a ser una de las principales limitante para el desarrollo y producción del cacao. Entre las que se cuentan los bajos niveles de pH, fósforo, calcio, magnesio, potasio en el suelo, lo que se constituye en un indicativo para aplicar fertilizantes y enmiendas con el objeto de mejorar el contenido y balance de nutrientes en el suelo, y por ende su funcionamiento global.

Tabla 4- 6: Aplicación de prueba de hipótesis – parámetros químicos.

Parámetros Químicos	Valor hipotético H_0	Datos	Desviación estándar	Error estándar	p-Valores extremos
pH	8,0000	6,3500	0,1803	0,1041	,0040 se rechaza H_0
Magnesio (Mg)	4,00000	2,17000	0,08718	0,05033	,0008 se rechaza H_0
Potasio (K)	1,00000	0,05333	0,01155	0,00667	4,96E-05 se rechaza H_0
Calcio (Ca)	9,00000	8,77333	0,03215	0,01856	,0066 se rechaza H_0
Fósforo (P)	100,0000	42,8333	4,9662	2,8672	,0025 se rechaza H_0

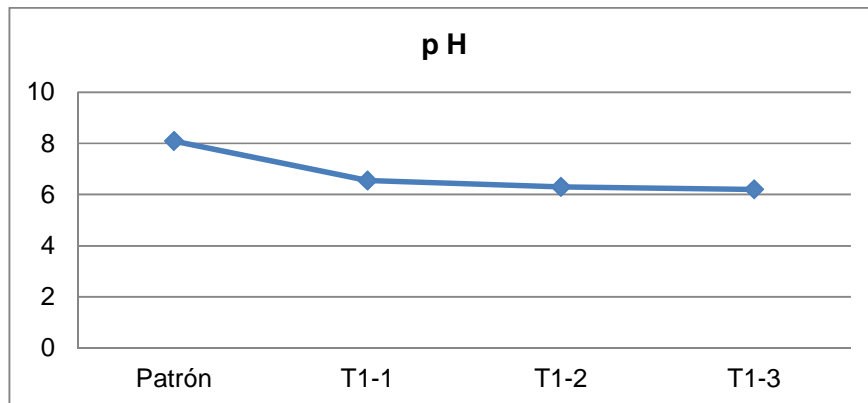


Figura 4- 2: Parámetros p H analizado.

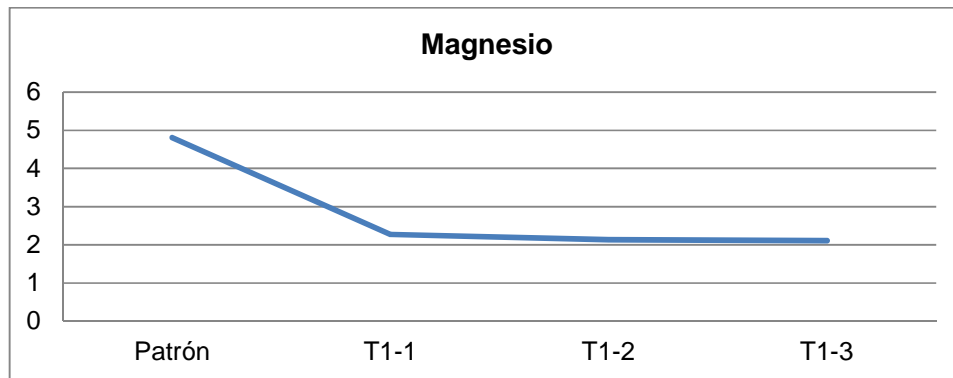


Figura 4- 3: Parámetros magnesio analizado.

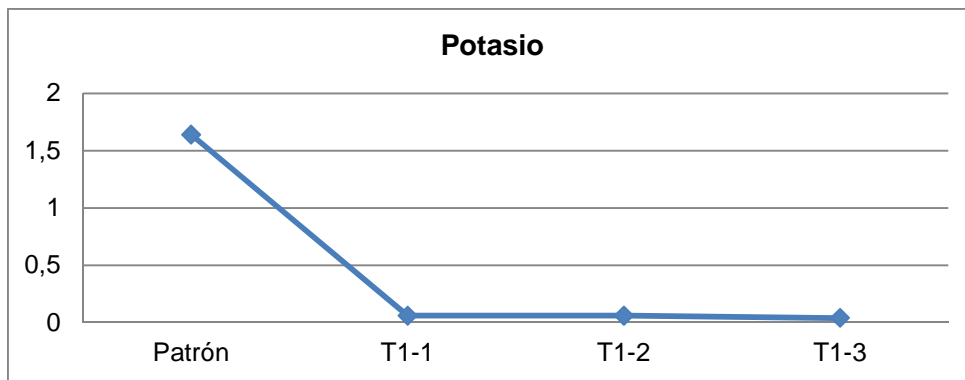


Figura 4- 4: Parámetros potasio analizado.

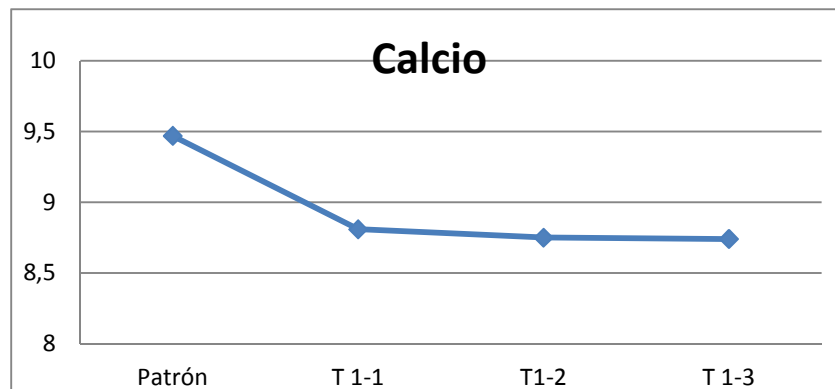


Figura 4- 5: Parámetro calcio analizado

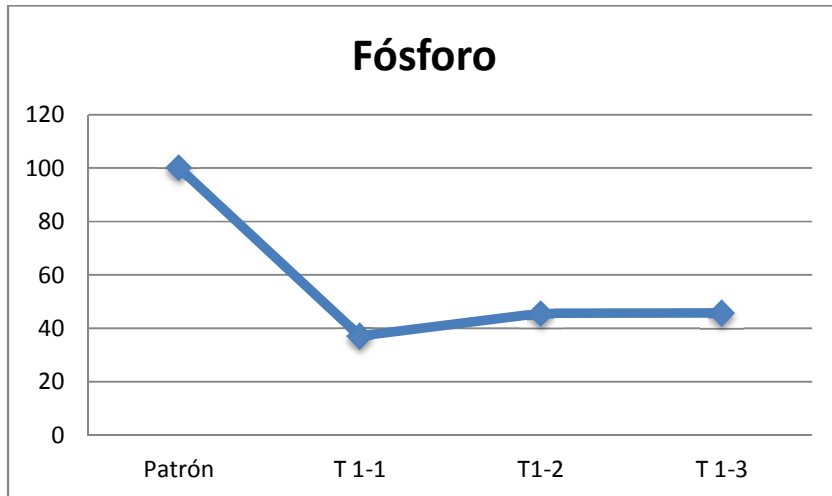


Figura 4- 6: Parámetro fósforo analizado

4.2 Caracterización biológica

Al evaluar el efecto del vertimiento de los subproductos del beneficio del cacao sobre los tres parámetros biológicos se evidencia el efecto ocurrido comprobando la hipótesis formulada para cada uno de ellos.

Respecto al parámetro de los hongos y las bacterias heterótrofas se evidenció que este grupo de microorganismo en T1-1 presentó un descenso poblacional que pudo haber sido producto de la escasa precipitación que se registró en la época seca, septiembre 2012 (**Figura 4-1**). A medida que transcurrió el tiempo su población aumentó como lo registraron los análisis posteriores (**tabla 4-6**). Esto obedece a lo que expresa **Rey-Pazos** (2007), de que la progresión del desarrollo de colonias puede ser producto del descenso del pH del suelo el cual se registró y de la etapa final de la degradación del material orgánico en el mismo. Situación que favorece su densidad y la actividad microbiana de estos grupos, dadas las condiciones óptimas para su fomento como lo destaca **Kolmans & Vásquez** (1996), ayudando así a mejorar la fertilidad del suelo al considerar la calidad y cantidad de los nutrientes producto de su metabolismo, factor que no se evaluó en este estudio.

De estos dos grupos estudiados, el que presentó mayor abundancia en el suelo fue el de las bacterias, quizás posiblemente por ser capaces de crecer más rápidamente como lo afirma **Campos** (2008), debido a la composición química de los subproductos depositados en el suelo (**tablas 2-1 y 2-3**) los cuales emplean como fuente de carbono y de nitrógeno (**Figuras 4-7 y 4-8**).

Por otro lado el parámetro de los fijadores de nitrógeno, presentaron aumento en sus colonias en los registros efectuados esto debido como lo cita **Bolaños-Benavides** (1998), a las condiciones favorables del tipo de material orgánico dispuesto en el suelo, de la cantidad que se esté descomponiendo, por la heterogeneidad de este grupo de

microorganismos, o también probablemente a que estos organismos presentan ventaja metabólica sobre los otros y por lo tanto tienden a aumentar sus poblaciones.

El comportamiento presentado por los solubilizadores de fosfatos **figura 4-10** muestra un aumento poblacional con respecto a la muestra patrón, este resultado se relaciona posiblemente con las condiciones favorables para su crecimiento y desarrollo en este tipo de hábitat, entre ellas el contenido y la composición de la materia orgánica que provoca un aumento de la disponibilidad de sustratos metabolizables lo que lleva a un incremento de microorganismos descomponedores entre los que se destacan los de capacidad solubilizadora (**Luna et al., 2002**).

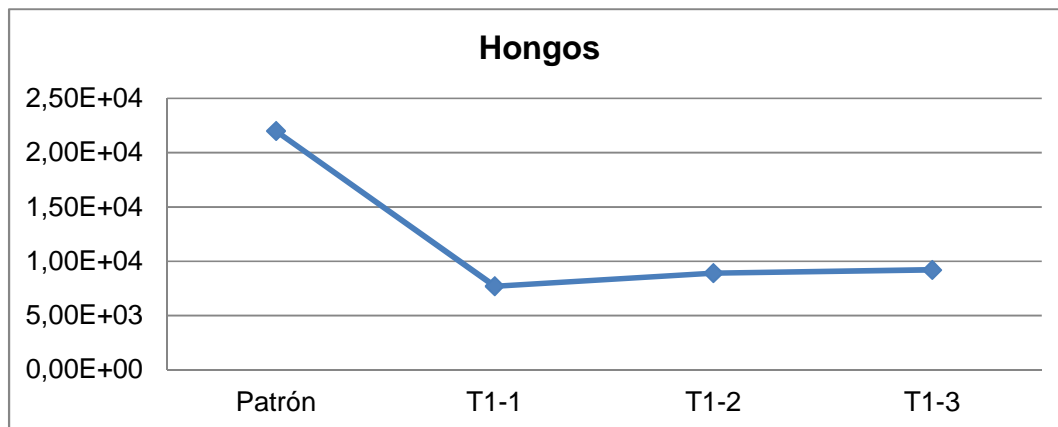
De hecho el estudio de los parámetros biológicos resulta ser algo complejo debido a que no existen criterios definidos para establecer que todos los suelos presentan una densidad de hongos, bacterias, fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos establecida, ya que hay que tener en cuenta la alta variabilidad del suelo dependiendo del orden del mismo, de las condiciones ambientales en que se ha dado ese orden, de los aspectos de manejo y de las variaciones de las partículas que lo integran (**IGAC, 2013**). En este orden de ideas en función de los fijadores de nitrógeno y de acuerdo a los criterios del área de Biología del IGAC, cuando la población es $>1E + 06$ es un indicativo de un suelo sometido a monocultivo y prácticas inapropiadas, dato que confirma el uso del área de estudio puesto que la población registrada estuvo por el orden de $8,9E + 08$ en la muestra patrón (**Figura 4-9**).

Tabla 4- 7: Parámetros biológicos analizados.

Parámetros biológicos	Unidad	Patrón	Tratamiento		
			T1- 1	T1- 2	T1- 3
Hongos	UFC*/g ó ml de muestra	2,2E+04	7,7E+03	8,90E+03	9,20E+03
Bacterias heterótrofa	UFC*/g ó ml de muestra	2,0E+08	1,2E+08	1,30E+08	1,4E+08
Fijadores de nitrógeno	UFC*/g ó ml de muestra	8,9E+07	1,8E+08	1,7E+08	1,7E+08
Solubilizadores de fosfato	UFC*/g ó ml de muestra	4,2E+06	1,2E+07	1,1E+07	1,0E+07

Tabla 4- 8: Aplicación de prueba de hipótesis – parámetros biológicos.

Parámetros Biológicos	Valor hipótesis H_0	Datos	Desviación estándar	Error estándar	p-Valor
Hongos	$H_0= 22.000,00000$	8.600,00000	793,72539	458,25757	,0012 se rechaza H_0
Bacterias heterótrofa	200.000.000,0	130.000.000,0	10.000.000,0	5.773.502,6	,0067 se rechaza H_0
Fijadores de nitrógeno	89000000	173.333.333,3	5.773.502,6	3.333.333,3	0,0016se rechaza H_0
Solubilizadores de fosfato	4.200.000,0	11.000.000,0	1.000.000,0	577.350,26	,0071 se rechaza H_0

**Figura 4- 7:** Población registrada de hongos.

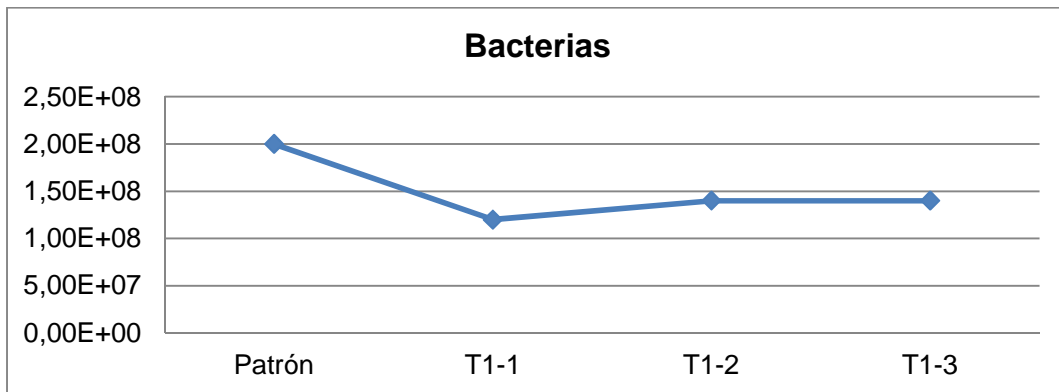


Figura 4- 8: Población registrada de bacterias heterótrofas.

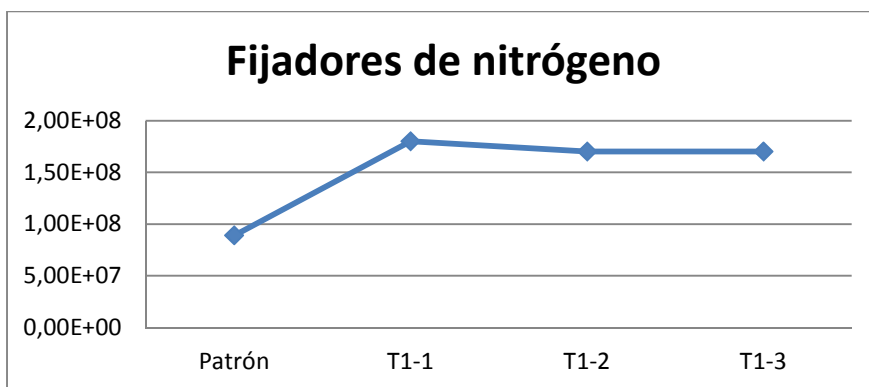


Figura 4- 9: Población registrada de microorganismos fijadores de nitrógeno.

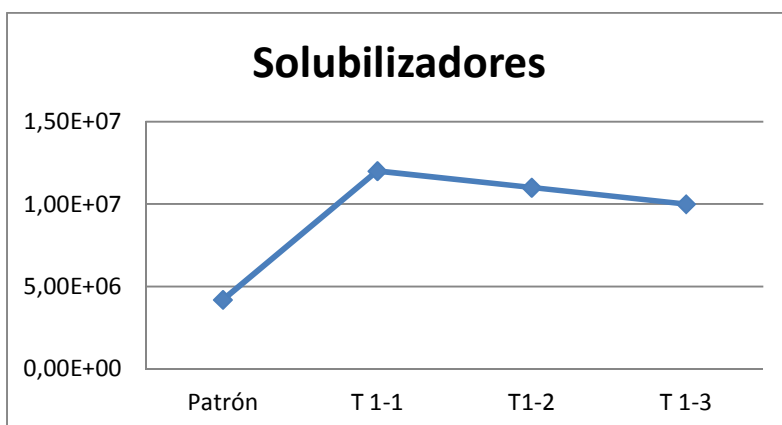


Figura 4- 10: Población registrada de microorganismos solubilizadores de fosfatos.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El efecto del vertimiento de subproductos en el suelo resultó variable por cada parámetro evaluado, de acuerdo con la prueba de hipótesis aplicada. No se encontró una relación directa concluyente que permitiera saber si son las cáscaras o el exudado que provoca la mayor variación, porque se asumieron en conjunto. En lugar de ello se pudo determinar que la variabilidad de los parámetros considerados en el suelo está afectada por el tipo de subproductos por lo que en el **anexo A** se proponen algunas estrategias para su manejo como lo es el empleo de las cáscaras para alimentación de animales, elaboración de pectinas o como abono siempre y cuando se les dé el tratamiento adecuado en las composteras, así mismo el exudado resulta ser una alternativa atractiva para la elaboración de bebidas sean estas fermentadas o no, de néctares o como caso de estudios posteriores como agente modificador de pH para suelos alcalinos.

Los cambios en la composición química del suelo luego del vertimiento de subproductos del beneficio del cacao, lleva a considerar que se presenta déficit de potasio lo cual bien pudo haber sido por el nivel elevado de magnesio, pese a que éste también disminuyó con respecto a la muestra patrón posiblemente debido al descenso en el pH del suelo. Sin embargo respecto a los parámetros biológicos se presentó aumento poblacional de los grupos de microorganismos considerados en este estudio lo anterior da a entender que es un reflejo de la fuente de alimentación y de las variaciones dadas en el suelo por ese mismo factor.

Las características químicas de los subproductos vertidos, presentan porcentajes de humedad altos para las cáscaras 85% y para el exudado entre 79,2 y 84,2% esta condición facilitó aún más la descomposición por parte de los microorganismo y por ende el aumento poblacional lo que llevó a una mayor liberación de exudados por parte de ellos contribuyendo de esta manera a la acidificación del suelo.

5.2 Recomendaciones

Determinar el efecto por separado de cada uno de los subproductos del beneficio del cacao sobre el suelo.

Evaluar el efecto de los cambios ocurridos por el vertimiento de estos subproductos del beneficio del cacao sobre el cultivo.

Emplear más tiempo para comparar el aporte de la descomposición plena de la cáscara de cacao, con el fin de determinar más ampliamente su efecto directo en el suelo y en la composición de la materia orgánica.

Bibliografía

AEMA. 2002. *Con los pies en la tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa.* Agencia Europea de Medio Ambiente. Copenhagen (Dinamarca), 32p.

AGRONET. 2013. Red de información y comunicación estratégica del sector agropecuario colombiano. Disponible en: www.agronet.gov.co. Consultado en Mayo 2013.

Álvarez-León, R. 2011. *Línea de Investigación sobre Biosistemas.* Universidad de Manizales Colombia. Centro de investigaciones en medio ambiente y desarrollo. Manizales (Colombia), 21 p.

Arroyabe, J. C. 2011. *Nuevo enfoque de la cacaocultura Colombiana.* Casa LukerCoombia. Manizales (Colombia), 72 p.

Augstburger, F., Berger, J. & Censkowsky, U. 2000. *Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico. Guía de Cacao.* Asociación Naturland. (Alemania), 20p.

Barber, S.A. 1995. *Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach.* John Wiley & Sons. New York, 414 p.

Bolaños-Benavides M.M. 1998. *El papel del componente biorgánico en la fertilidad de los suelos.* Corpoica, Armenia (Colombia), 105 p.

Campos T. 2008. *Determinación de microorganismos benéficos de suelo.* Biblioteca agropecuaria de Colombia. Bogotá (Colombia), 32 p.

Cárdenas-Miranda, J. W. 2010. *Estado del sector cacaotero en el Huila.* Secretaria de Agricultura y Minería del Huila. Neiva (Colombia), 75 p.

Chamorro, C. 1989. *Efecto del uso del suelo sobre la composición edafo- faunística de los páramos que circundan la ciudad de Bogotá.* Suelos Ecuatoriales, 19(1): 48-62.

Chan, G. 1999. *Integrated biosystems.* ZERI / FAO. Roma (Italy).

Enríquez-Gustavo, A. 1985. *Curso sobre el cultivo del cacao.* Centro Interamericano de documentación e información Agrícola. Turrialba (Costa Rica), 193p.

Espinal, C. F., Martínez H. & Ortiz, L. 2005. *La Cadena Del Cacao En Colombia: Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2005.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá (Colombia), 51p.

Etter, A. & Villa, L.A. 2000. *Andean forests and farming systems in part of the Eastern Cordillera (Colombia).* Mountain Research and Development 20(3): 236-245.

Fassbender, H. W. & Bornemiza, E. 1994. *Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina.* IICA. San José (Costa Rica), 93 p.

FEDECACAO-PRONATTA. 2004. *Federación nacional de cacaoteros y corporación nacional de transferencia de tecnología. Módulos técnicos del cacao.* Bogotá (Colombia), 56 p.

Fernández, Zalba P. & Gómez, M. 2005. *Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera.* Revista Valencia, 37 p.

García-Carrión L.F. 2008. *Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en Perú.* M & O Consulting S.A.C. Lima (Perú), 152 p.

García-Lozano, J., Romero-Carrascal, M. & Ortiz, L. A. 2006. *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao.* CORPOICA. Cundinamarca (Colombia), 58p.

Havlin, J. L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1999. *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management.* Upper Saddle River (Estados Unidos), 499 p.

Hernández-Sampieri, R., Baptista-Lucio, P. & Fernández-Collado, C. 2006. *Metodología de la investigación.* Editorial Mc Graw Hill, 4ª Edición. México D. F. (México), 200 p.

IGAC. 2013. *Muestreo de suelos*. Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”. Disponible en: <http://www.igac.gov.co/igac>. Consultado: Julio 2013.

Kolmans, E. & Vásquez, D. 1996. *Estiércol y compost*. Manual de agricultura ecológica, 105p.

Labrador, J. 2008. *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. Sociedad Española de agricultura ecológica. Valencia (España), 47 p.

Lambin, E.F. & Geist, H.J. 2001. *Global land-use and land-cover change: what have we learned so far?* Global Change Newsletter, 46: 27-30 p.

León, L.A. 2001. *Las propiedades químicas de los suelos y su efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas*. In: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento, Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Comité Regional del valle del Cauca (Colombia), 170 p.

López, A. S, Ferreira, H., Llamosas, A. & Romeu, A. 1984. *Present Status of Cacao by-Products Utilization in Brazil*. Rev. Theobroma, 14(4): 271-291 p.

López, Roberto. 2002. *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial. Universidad de los Andes. Mérida (Venezuela), 280 p.

Luna, M. L., Vega, C., Franco, M.O., Vásquez, S., Trujillo, N., Ramírez, E. & Dendooven, L. 2002. *Actividad microbiana en suelos. Avance y perspectiva*. México, 332 p.

Medeiros, A. G. 1977. *Sporulation of Phytophthorapalmivora (Butl.)Butl.in relation to epidemiology and chemical control of black pod disease*. Ph. D. Thesis. University of California, Riverside (USA), 220 p.

Mejía, L.A. & Argüello O. 2000. *Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao*. Publicaciones CORPOICA. Regional 7. Bucaramanga (Colombia), 140p.

Navarro, S. & Navarro, G. 2003. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición. Ediciones Mundi – Prensa libros, S.A. Madrid. 487 p.

Navarro, Melba & Mendoza, Isidro. 2009. *Cultivo de cacao en sistemas agroforestales*. San Juan (Nicaragua), 70 p.

Padilla, J. & Olvera, E. 1991. *Métodos de análisis químico de suelos y plantas: muestreo, preparación de la muestra, digestiones y extracciones*. Chapingo (México), 72 p.

Parra, D. 1994. *Diagnóstico de enfermedades que afectan el cultivo del cacao en Barlovento y su comportamiento epidemiológico*. In: Taller Nacional de Cacao. Estación Experimental Miranda. Caucagua (Venezuela). Resúmenes, 21p.

Pinzón-Useche José Omar. 2012. *Manejo fitosanitario del cultivo de cacao-Theobromacacao L – medidas para la temporada invernal*. ICA - Federación Nacional de Cacaoteros. Bogotá (Colombia), 43 p.

Pinzón-Useche José Omar & Rojas Ardila Jacob. 1998. *Guía técnica para el cultivo de cacao*. Federación Nacional de Cacaoteros. Corporación nacional de transferencia de tecnología – PRONATTA. Bogotá (Colombia), 186 p.

POT. 2012. Plan de ordenamiento territorial de yaguará. Disponible en: <http://www.yaguara-huila.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=l-xx-1-&s=m&m=l>. Consultado Mayo 2012.

Rey-Pazos, Alfonso. 2007. *Los hongos en el ecosistema*. Agrupación micológica A Zarrota. Galicia (España), 18 p.

Sadeghian-Khalajabadi, S. 2012. *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición del café (Coffea arabica L.) en la etapa de almacigo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín (Ant.), 181 p.

Sáenz, C. B. 1991. *El cultivo del cacao*. Federación de Cacaoteros de Colombia. Editorial Tolaser. Bogotá (Colombia), 8p.

SIG-CORPOICA. 2004. *Programa Agroecosistemas*. Sistema de Información Georeferenciada-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. C.I. Tibaitatá (Colombia), 30p.

Silva, A., Ponce De León, J., Carassa, R. & Reyes, W. 1992. *Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambo sobre la producción de verdeos y propiedades físicoquímicas del suelo*. Notas Técnicas. Facultad de Agronomía. Montevideo (Uruguay), 16p.

Sinsabaugh, R.L., Carreiro, M.M. & Álvarez, S. 2002. *Enzyme and Microbial Dynamics of Litter Decomposition*. In: *Enzymes in the Environment*. Burns, R.G., Dick, R. (eds.) New York, (U.S.A): 249-266.

Sylvia, D., Fuhrman J., Hartel, P. & Zuberer, D. 1999. Principles and applications of soil microbiology. Estados Unidos, 550 p.

Valenzuela Juan Fernando. 2012. *El cultivo de cacao*. Paquete tecnológico Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. Medellín (Ant.), Colombia. 3 p.

Vera, D., Pérez, H. & Valencia H. 2002. *Distribución de hongos solubilizadores de fosfatos en dos microhábitats de suelo de dos unidades fisiográficas de Guaviare, Colombia*. Artículo – acta biológica Colombiana, volumen 7, No.1. Bogotá (Colombia), 9 p.

Vera, M., Rosales H. & Ureña N. 2000. *Caracterización físico-química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo*. Maracaibo (Venezuela):257-270.

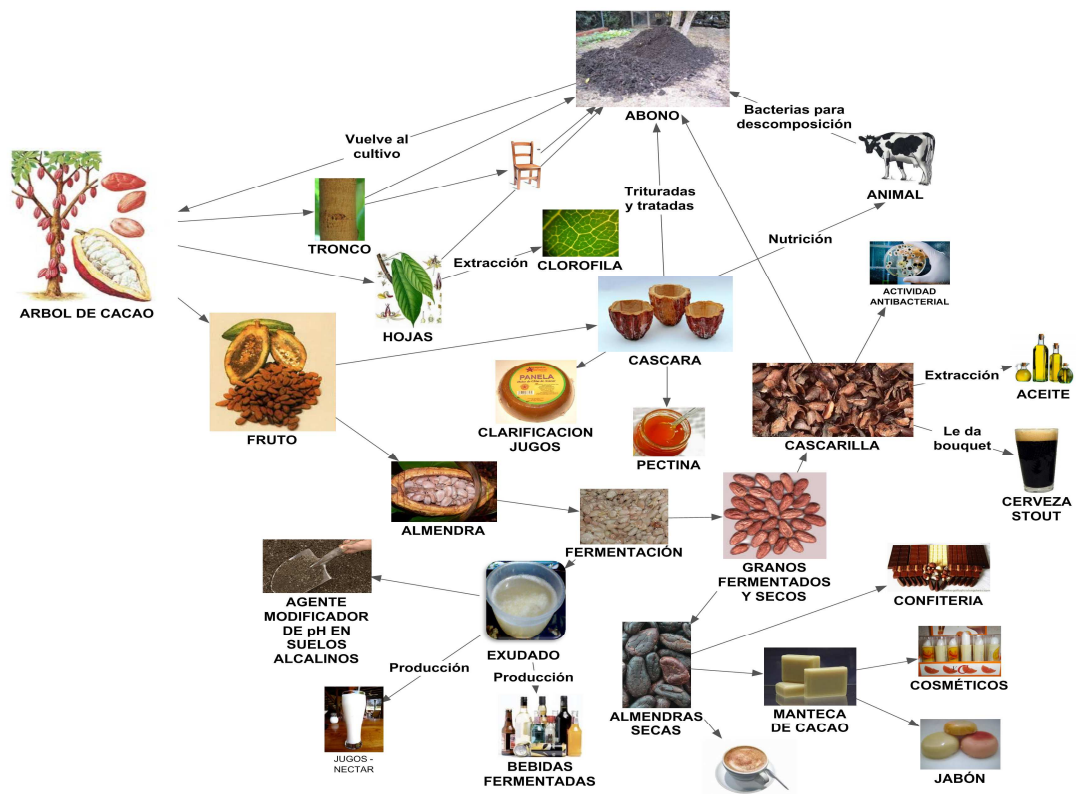
Zapata, H. R. 2004. *Química de la acidez del suelo*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Medellín (Colombia), 208 p.

Zapata, H. R. 2006. *Química de los procesos pedo-genéticos*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Medellín (Colombia), 208p.

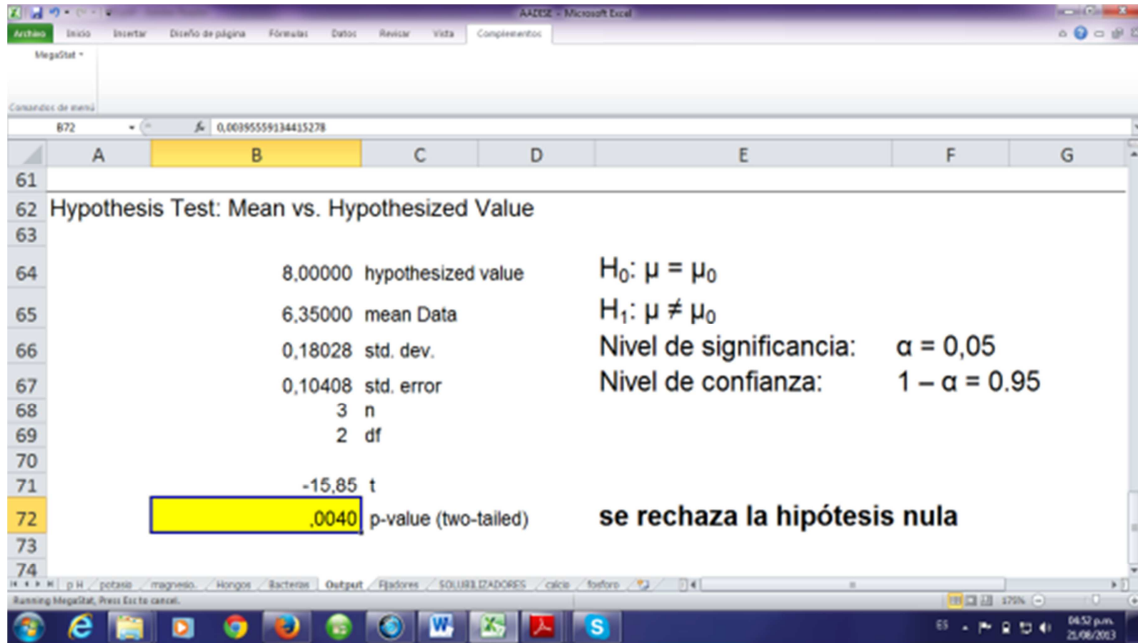
ZERI. 2011. Iniciativa Educativa. Disponible en:
<http://www.zeri.org/iniciativa/comoempezotodo.htm>. Consultado en Marzo 2011.

Anexos

A. Anexo: Propuesta de biosistema para el *T. cacao*



B. Anexo: Test de hipótesis para el p H



Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

8.00000	hypothesized value	$H_0: \mu = \mu_0$
6.35000	mean Data	$H_1: \mu \neq \mu_0$
0.18028	std. dev.	Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
0.10408	std. error	Nivel de confianza: $1 - \alpha = 0.95$
3	n	
2	df	
-15,85	t	
0,0040	p-value (two-tailed)	se rechaza la hipótesis nula

C. Anexo: Test de hipótesis para el magnesio

AAEZE - Microsoft Excel

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Referir Vista Complementos

MegaStat

Comandos de menú

B60 0,000755610094337534

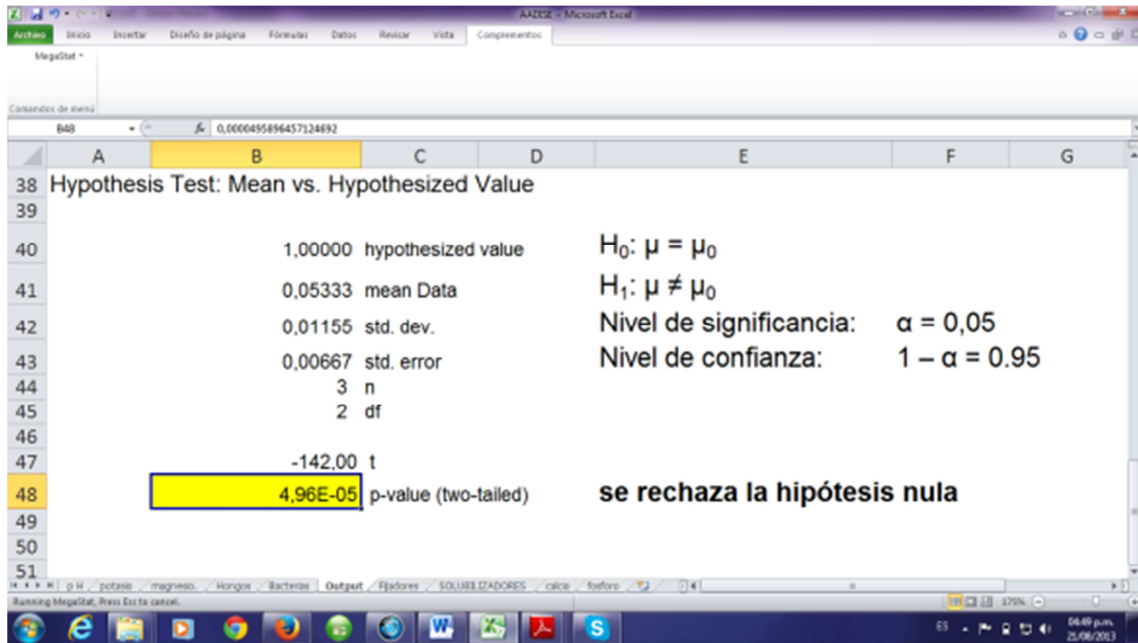
	A	B	C	D	E	F	G
50	Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value						
51							
52		4,00000	hypothesized value		$H_0: \mu = \mu_0$		
53		2,17000	mean Data		$H_1: \mu \neq \mu_0$		
54		0,08718	std. dev.		Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$		
55		0,05033	std. error		Nivel de confianza: $1 - \alpha = 0,95$		
56		3	n				
57		2	df				
58							
59		-36,36	t				
60		.0008	p-value (two-tailed)		se rechaza la hipótesis nula		
61							
62							
63							

Running MegaStat, Press Esc to cancel.

potasio / magnesio / Hongos / Bacterias / Output / Ejadros / SOLUBILIDADORES / calca / forfore

68.51 p.m. 21/06/2013

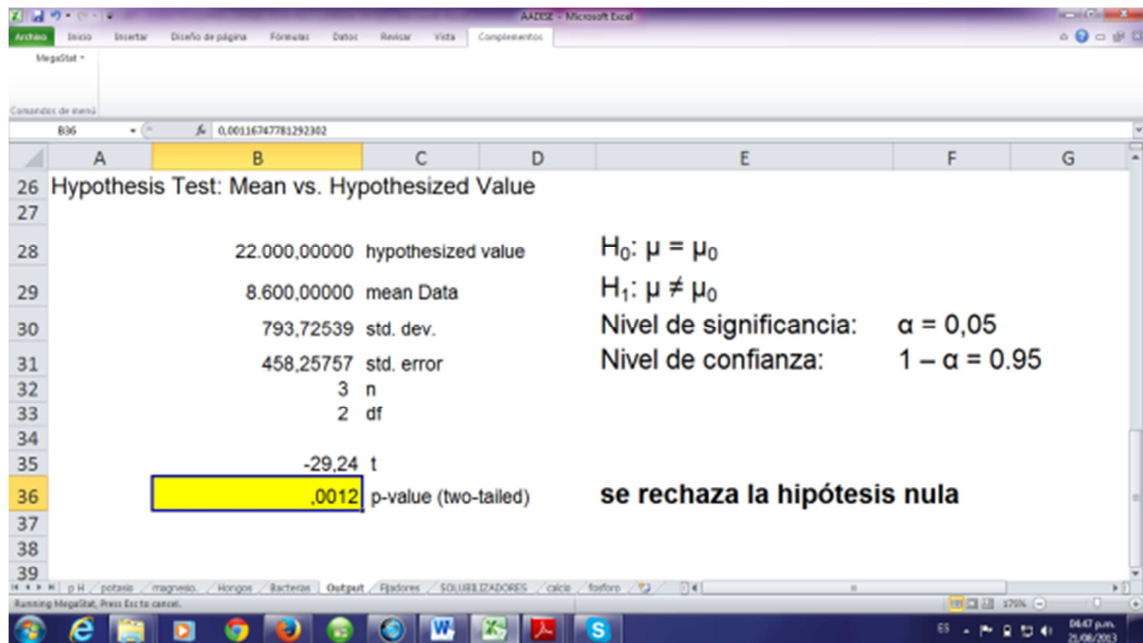
D. Anexo: Test de hipótesis para el potasio



The screenshot shows the MegaStat software interface with the following data and results:

Row	Column	Value	Label	Statistical Statement
38	Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value			
39				
40		1,00000	hypothesized value	$H_0: \mu = \mu_0$
41		0,05333	mean Data	$H_1: \mu \neq \mu_0$
42		0,01155	std. dev.	Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
43		0,00667	std. error	Nivel de confianza: $1 - \alpha = 0,95$
44		3	n	
45		2	df	
46				
47		-142,00	t	
48		4,96E-05	p-value (two-tailed)	se rechaza la hipótesis nula
49				
50				
51				

E. Anexo: Test de hipótesis para los hongos



F. Anexo: Test de hipótesis para las bacterias

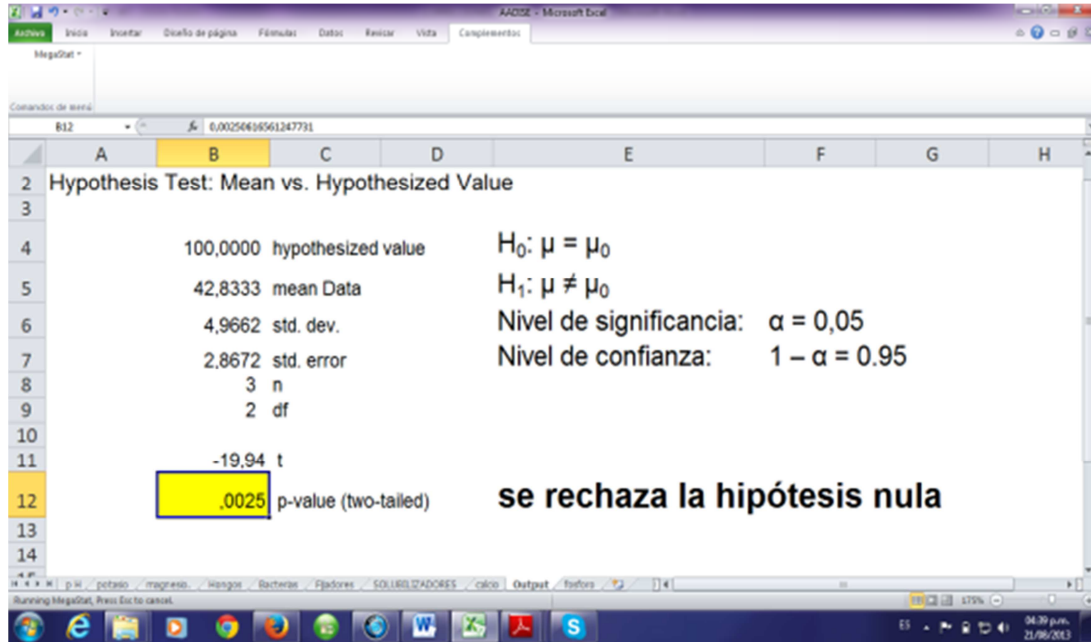
The screenshot displays the MegaStat software interface. The main window shows the results of a hypothesis test for a mean. The data entered includes a hypothesized value of 20,000,000,000,000, a mean of 130,000,000,000,000, a standard deviation of 10,000,000,000,000, a standard error of 5,773,502,69190, a sample size (n) of 3, and degrees of freedom (df) of 2. The test results show a t-statistic of -3441.58 and a p-value of 8.44E-08. The conclusion is 'se rechaza la hipótesis nula'. The software interface also shows the menu bar, command window, and taskbar.

Row	Column A	Column B	Column C	Column D	Column E	Column F	Column G
13							
14	Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value						
15							
16		20.000.000.000,00000	hypothesized value		$H_0: \mu = \mu_0$		
17		130.000.000,00000	mean Data		$H_1: \mu \neq \mu_0$		
18		10.000.000,00000	std. dev.		Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$		
19		5.773.502,69190	std. error		Nivel de confianza: $1 - \alpha = 0.95$		
20			3 n				
21			2 df				
22							
23			-3441,58	t			
24			8,44E-08	p-value (two-tailed)			se rechaza la hipótesis nula
25							
26							

G. Anexo: Test de hipótesis para fijadores de nitrógeno

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value					
3							
4		89.000.000.00000	hypothesized value		$H_0: \mu = \mu_0$		
5		173.333.333.33333	mean Data		$H_1: \mu \neq \mu_0$		
6		5.773.502.69190	std. dev.		Nivel de significancia:	$\alpha = 0,05$	
7		3.333.333.33333	std. error		Nivel de confianza:	$1 - \alpha = 0.95$	
8		3	n				
9		2	df				
10							
11		25,30	t				
12		.0016	p-value (two-tailed)		se rechaza la hipótesis nula		
13							
14							

J. Anexo: Test de hipótesis fósforo



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "AACDSE - Microsoft Excel" with a worksheet named "MegaDat". The spreadsheet displays the results of a hypothesis test for the mean of phosphorus. The test is titled "Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value". The results are as follows:

Row	Column	Value	Description	Statistical Notation
4	B	100,0000	hypothesized value	$H_0: \mu = \mu_0$
5	B	42,8333	mean Data	$H_1: \mu \neq \mu_0$
6	B	4,9662	std. dev.	Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
7	B	2,8672	std. error	Nivel de confianza: $1 - \alpha = 0,95$
8	B	3	n	
9	B	2	df	
11	B	-19,94	t	
12	B	.0025	p-value (two-tailed)	se rechaza la hipótesis nula

