

**CARACTERIZACIÓN DE UN COMPUESTO ORGÁNICO PRODUCIDO EN
FORMA ARTESANAL POR PEQUEÑOS AGRICULTORES EN EL
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.**

DIOMARA MARGARITA SUÁREZ SEGURA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA
CONVENIO CON LA UNIVERSIDAD DE MAGDALENA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN SUELOS
SANTA MARTA - COLOMBIA**

2009

**CARACTERIZACIÓN DE UN COMPUESTO ORGÁNICO PRODUCIDO EN
FORMA ARTESANAL POR PEQUEÑOS AGRICULTORES EN EL
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.**

DIOMARA MARGARITA SUÁREZ SEGURA

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de
MAGÍSTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN SUELOS.**

DIRECTOR DE TESIS

CARMEN ROSA BONILLA CORREA I.A., M. Sc.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA
CONVENIO CON LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS CON ÉNFASIS EN SUELOS
SANTA MARTA - COLOMBIA**

2009

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santa Marta, 19 de Octubre de 2009

DEDICATORIA

Son tantas experiencias y personas que han pasado durante este tiempo conmigo de una forma incondicional, solo esperando este gran día.

Entre ellos estás tú Dios mío, que sin tu guía no hubiese podido, gracias te doy por darme una madre tan especial, emprendedora y amorosa, a quien quiero mucho; a mi padre que hoy no está conmigo, pero sé que él a tu lado también me acompaña; a mis hermanos.

Sin todo este respaldo y apoyo no hubiese sido posible.

GRACIAS A TODOS.

AGRADECIMIENTOS

Mis Agradecimientos A:

Dra. Carmen Rosa Bonilla, por su gran apoyo y paciencia.

Al Dr. Mario García Dávila, por brindarme su apoyo en el momento que lo necesité.

Al Dr. Juan Carlos Menjivar, por su valiosa colaboración.

A todos los productores asociados en COOPRABISCUR y ASOPEPAMA, que con su cariño y voluntad estuvieron ayudándome durante esta etapa.

A mis compañeros Yovany, Carol y Reynel por su trabajo dedicado en el laboratorio de microbiología.

A la Corporación PBA, por su confianza y cofinanciación.

A todo el personal de Corpoica E.E. Caribia, por su grata compañía y cariño en el desarrollo de mi profesión.

A la Dra. Clara Gutiérrez, por su esmero e incondicional apoyo.

A todos mis compañeros de la maestría de Ciencias Agrarias.

A todos mis familiares y amigos.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	16
SUMMARY	18
INTRODUCCIÓN	19
1. REVISIÓN DE LITERATURA	21
1.1 MATERIA ORGÁNICA	21
1.1.1 Efecto sobre el suelo	22
1.2 BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS	23
1.3 MICROORGANISMOS EFICIENTES	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1 LOCALIZACIÓN	28
2.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	28
2.2.1 Descripción de tratamientos	28
2.3 MANEJO DEL EXPERIMENTO	30
2.4. ANALISIS ESTADISTICO DE LA INFORMACION	31
2.5 VARIABLES DE RESPUESTA	32
2.5.1 Características Químicas	32
2.5.2 Características biológicas	32
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL COMPUESTO ORGÁNICO A DIFERENTES TIEMPOS DE FERMENTACIÓN.	34
3.1.1 Nitrógeno	34
3.1.2 Fósforo	36
3.1.3 Potasio	37

3.1.4 Calcio, magnesio y azufre	39
3.1.5 Hierro, cobre y manganeso	41
3.1.6 Sodio, zinc y boro	42
3.1.7 Relación carbono:nitrógeno	45
3.1.8 Carbono orgánico	47
3.1.9 pH	47
3.1.10 Conductividad eléctrica	49
3.2 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL COMPUESTO ORGÁNICO A DIFERENTES TIEMPOS DE FERMENTACIÓN	51
3.2.1 Bacterias	51
3.2.2 Fijadores de nitrógeno	53
3.2.3 Hongos	55
3.2.4 Levaduras	59
3.2.5 Actinomicetos	62
3.2.6 Coliformes totales y fecales	63
3.2.7 Salmonella	66
3.3 RELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS	66
4. CONCLUSIONES	69
5. RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diseño de tanque de fermentación utilizado y distribución de tratamientos en el área de producción de compuestos orgánicos. E.E Caribia CORPOICA, 2007.	30
Figura 2. Distribución de tratamientos en tanques de almacenamiento del compuesto orgánico. E.E Caribia CORPOICA, 2007.	31
Figura 3. Contenido de nitrógeno en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación	34
Figura 4. Contenido de N en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	35
Figura 5. Contenido de fósforo, entre los 25 y 75 días de fermentación, del compuesto orgánico “biol”, producido artesanalmente.	36
Figura 6. Contenido de fósforo en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	37
Figura 7. Contenido de potasio, entre los 25 y 75 días de fermentación, del compuesto orgánico “biol”, producido artesanalmente.	38
Figura 8. Contenido de potasio en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	39

Figura 9. Contenido de calcio, magnesio y azufre, entre los 25 y 75 días de fermentación, del compuesto orgánico “biol”, producido artesanalmente.	40
Figura 10. Contenido de azufre en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	41
Figura 11. Contenido de hierro, cobre y manganeso en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.	41
Figura 12. Contenido de sodio, zinc y boro en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.	42
Figura 13. Contenido de sodio en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	43
Figura 14. Contenido de zinc en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	44
Figura 15. Contenido de boro en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	45
Figura 16. Relación C:N en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.	46

Figura 17. Relación C:N en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	46
Figura 18. Contenido de carbono orgánico en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.	47
Figura 19. Contenido de carbono orgánico en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	48
Figura 20. Contenido del pH en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.	48
Figura 21. Contenido de pH en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	49
Figura 22. Conductividad eléctrica del compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.	50
Figura 23. Conductividad eléctrica del compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	51
Figura 24. Comportamiento de la población bacteriana durante cinco tiempos diferentes de fermentación del compuesto orgánico.	52
Figura 25. Unidades formadoras de colonia UFC ml ⁻¹ de bacterias a	53

diferentes días de fermentación y almacenamiento.

- Figura 26. Unidades formadoras de colonias de bacterias fijadoras de nitrógeno en diferentes tiempos de fermentación del compuesto orgánico. 54
- Figura 27. Características macroscópicas de colonias de fijadores de nitrógeno aislados en agar manitol del biopreparado. 54
- Figura 28. Unidades formadoras de colonia UFC ml⁻¹ de fijadores de nitrógeno presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales. 55
- Figura 29. Características macroscópicas de colonias de mohos aislados en agar c’zapekc del biopreparado. 56
- Figura 30. Características microscópicas de *Aspergillus sp.* (a), y *Penicillium sp.* (b), aislados en agar c’zapekc del biopreparado. 57
- Figura 31. Unidades formadoras de colonias de mohos, en cinco tiempos de fermentación del biopreparado. 58
- Figura 32. Unidades formadoras de colonia UFC ml⁻¹ de hongos presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales. 59
- Figura 33. Características macroscópicas de colonias de levaduras aisladas en agar OGY de biopreparado. 60

Figura 34. Unidades formadoras de colonias de levaduras, en cinco tiempos de fermentación del biopreparado.	61
Figura 35. Unidades formadoras de colonia UFC ml ⁻¹ de levaduras presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	61
Figura 36. Unidades formadoras de actinomicetos, en cinco tiempos de fermentación del compuesto orgánico.	63

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Relación de tratamientos de biol anaerobio de acuerdo al tiempo de fermentación y tiempo de almacenamiento para caracterización química y biológica.	29
Tabla 2. Número más probable NMP ml ⁻¹ de coliformes totales y fecales del compuesto orgánico presentes en la etapa de fermentación.	64
Tabla 3. Número más probable NMP ml ⁻¹ de coliformes totales presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.	65
Tabla 4. Número más probable NMP ml ⁻¹ de coliformes fecales del biopreparado presentes en distintas días de fermentación y distintos días de almacenamiento.	65
Tabla 5. Componentes principales de la caracterización química y biológica del biol producido artesanalmente por productores del departamento del Magdalena.	67
Tabla 6. Aporte de las variables de los componentes principales de la caracterización química y biológica del biol producido artesanalmente por productores del departamento del Magdalena.	68

LISTA DE ANEXOS

	pág
ANEXO 1. Anova de las variables químicas evaluadas.	77
ANEXO 2. Anova de las variables biológicas evaluadas.	81
ANEXO 3. Matriz de correlación de variables canónicas estandarizadas.	83
ANEXO 4. Contenido de nitrógeno, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.	84
ANEXO 5. Modelo de regresión logarítmica del contenido de nitrógeno con relación al tiempo.	84
ANEXO 6. Contenido de fósforo, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.	85
ANEXO 7. Modelo de regresión cuadrática del contenido de fósforo en relación al tiempo.	86
ANEXO 8. Contenido de potasio, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.	87
ANEXO 9. Modelo de regresión cuadrática del contenido de potasio en relación al tiempo.	88
ANEXO 10. Variación del contenido de calcio, magnesio y azufre, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.	89
ANEXO 11. Modelo de regresión polinomial de tercer grado, del contenido de azufre en relación al tiempo	90
ANEXO 12. Modelo de regresión cuadrática del contenido de hierro en relación al tiempo.	91
ANEXO 13. Variación del contenido de zinc y boro, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.	92
ANEXO 14. Modelo de regresión cuadrática del contenido de sodio en relación al tiempo.	92

ANEXO 15. Modelo de regresión del contenido de manganeso en relación al tiempo.

RESUMEN

Este estudio se realizó con el fin de caracterizar un compuesto orgánico “bio” producido en forma artesanal por pequeños agricultores en el departamento del Magdalena, cuantificando la concentración de nutrientes y caracterización de las poblaciones de microorganismos durante el proceso de fermentación y se estudió la estabilidad química y biológica de dicho producto a través del tiempo, contribuyendo a optimizar los procesos de producción y utilización de éste tipo de insumo orgánico.

La experimentación se adelantó en la Estación Experimental Caribia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, localizada en el corregimiento de Sevilla, Municipio Zona Bananera, Departamento del Magdalena, ubicada a 10° 46' 00" de latitud Norte y 74° 8' 00" de longitud oeste. Se utilizó un sistema factorial en bloques completos al azar con dos factores: fermentación y almacenamiento y tres repeticiones. En este sentido, se trabajó con 15 recipientes plásticos de 25 litros de capacidad, a los cuales se les agregaron los ingredientes de la preparación: 6 kg de estiércol de bovino fresco, 0.5 kg de material vegetal (follaje de leucaena), 500g de ceniza, 500 cc de melaza, 500 cc de suero dulce, 0.5 litros de rumen, 150 g de harina de trigo, 75 g de sal común, 500 g de afrecho de maíz. Se taparon herméticamente y se evaluó a los 20, 30, 45, 60 y 75 días de iniciada la fermentación, la composición química y biológica del compuesto. Posteriormente, se envasaron en canecas de plástico y mantuvieron en almacenamiento a temperatura ambiente, valorando a los 10, 20, 30, 45, 60 y 75 días la estabilidad química y biológica del mismo.

Los resultados obtenidos presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), en la interacción de ambos factores, sin embargo la concentración más alta de nutrientes del compuesto orgánico durante el proceso de fermentación, está a los 60 días, no obstante a los 45, el contenido microorganismos es alto, principalmente en bacterias y levaduras, en consecuencia se alcanzan contenidos altos de carbono orgánico, debido a biodegradabilidad de la fracción orgánica de los componentes empleados, lo que indica que la fermentación anaerobia es una buena opción para obtener un acondicionador de suelos con buenas características nutricionales, que a su vez lleve a incrementos del carbono orgánico en el suelo y según lo anotado por García (2005), que puede ser útil como enmienda para la rehabilitación de suelos sódicos, ya que presenta pH ácido y elevada concentración electrolítica.

El análisis de regresión de las variables evaluadas, mostró que a partir de los 85 días, la estabilidad del producto disminuye, por lo tanto no debe almacenarse por más tiempo. Además, el análisis de componentes principales mostró que las variables que más contribuyen en la variabilidad están explicadas por el carbono,

las bases, la reacción, presencia de sales, nutrientes asociados a la materia orgánica, oligoelementos, microorganismos de descomposición y asociados a la materia orgánica.

Palabras claves: Fermentación, anaeróbica, bioinsumos, biofertilizante, microorganismos, materia orgánica.

ABSTRACT

The study was done to characterize the organic compound "biol" crafted by small scale farmers in the Magdalena Province. The study was made by the quantification of nutrients and the characterization of the microorganisms' population in the product, as well as studying its chemical and biological stability during the production process. With this knowledge it is possible to contribute to optimization in the production of this input, and to improve the use of this kind of organic compound.

The experiment was done in the Experimental Station Caribia that belongs to the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, located in the area of Sevilla, Zona Bananera, Municipality from the Magdalena Province, 10° 46' 00" de north latitude and 74° 8' 00" west longitude, in the Colombian Caribbean Coast. The experiment was done using a factorial system in complete blocks at random according to two factors: fermentation and stocking, and three repetitions. The work was done with 15 plastic containers with 25 liters capacity each, to which the ingredients of the preparation were added, 6 kg of fresh bovine dung, 0,5 kg of vegetal material (*leucaena* foliage), 500g of ash, 500 cc of molasses, 500 cc of sweet serum, 0,5 liters of rumen, 150 wheat flour g, 75 g of common salt, 500 g of maize bran, that were hermetically covered after the preparation and evaluated at 20, 30, 45, 60 and 75 days after the fermentation was initiated. Later, the product was packed in plastic containers and stocked at room temperature, evaluating its biological and chemical composition at 10, 20, 30, 45, 60 and 75 days.

The results obtained had statistical differences ($p < 0.05$), regarding the interaction of both factors fermentation and stocking. The highest concentration in nutrients during the fermentation process was at day number 60, although at the 45 days, the microorganisms content is high, specially in bacteria and yeasts. consequently high organic carbon contents are reached, due to biodegradability of the organic fraction of the used components, which indicates that the anaerobic fermentation is a good option to obtain a ground conditioner with good nutritional characteristics, that takes as well to increases of organic carbon in the ground and according to the written down thing by Garcia (2005), who can be useful like amendment for the sodium ground rehabilitation, since she presents/displays acid pH and high electrolytic concentration.

The regression analysis of the evaluated variables showed that from the day number 85 the product stability decreases and therefore it shouldn't be stock for longer time. Complementary, the principal compound's analysis showed that the variables that contribute more in the variability are explained by carbon, the bases, the reaction, presence of salts, nutrients associated to the organic matter, trace elements, microorganisms of decomposition and associated to the organic matter.

Key words: Fermentation, anaerobic, bioinsumos, biofertilizante, microorganisms, organic matter. Key words: bio, organic compound.

INTRODUCCION

A partir de la revolución verde se incrementó el uso de insumos químicos (fertilizantes, herbicidas, pesticidas) utilizándolos indiscriminadamente, sin pensar en los efectos secundarios que surgirían en detrimento del ambiente y la salud humana. Actualmente se sabe que muchos de estos insumos han provocado el deterioro del suelo y ocasionado tanto la desaparición de poblaciones de controladores naturales de plagas, como el surgimiento de nuevas plagas. Los pesticidas y abonos químicos han causado la pérdida de fertilidad de los suelos, el descenso de los rendimientos de cosechas e ingresos netos y, en consecuencia, han tenido un impacto negativo en la dinámica ecológica de los agroecosistemas (Gliessman 2000, 2002). Adicionalmente, tanto la salud del agricultor y su familia como la del público consumidor en general se han visto afectadas por la utilización indiscriminada de dichos insumos, que hoy en día se reconoce que es necesario un uso racional y limitado de este tipo de productos (Matsuzaki 2001, Uozumi 2002).

En este sentido, el movimiento orgánico mundial moderno, se desarrolló fuera de la corriente principal agrícola y mantuvo un sistema alimentario esencialmente separado hasta el final de los años 80, pero durante los años 90 se presentó una rápida expansión, cuando 20-25% de crecimiento anual fueron típicos para los mercados orgánicos. Bajo estos índices, el mercado orgánico se duplicaba en tamaño cada tres años. De manera paralela han surgido mercados alternativos que demandan productos completamente libres de estas sustancias, para lo cual se han desarrollado variedad de sellos a nivel mundial que certifican la calidad y características de los productos.

En la Costa Caribe colombiana y a través del proceso de innovación participativa adelantado por la Corporación PBA, CORPOICA y las Universidades Nacional de Colombia, de Córdoba y Sucre, los pequeños productores han identificado las consecuencias de los insumos químicos y hecho conciente la necesidad de reducir prácticas ambientalmente no sostenibles asociadas con el uso de los mismos, haciendo esfuerzos por desarrollar conocimiento propio que les permita obtener producciones rentables y de calidad con el uso de sistemas más limpios de producción.

Dentro de este ámbito, 20 organizaciones de pequeños productores en el Caribe colombiano vienen incorporando entre sus prácticas de cultivos la utilización de abonos orgánicos y biofertilizantes, algunas de ellas con miras a la certificación orgánica de sus productos y otros con miras a la comercialización de los bioinsumos que elaboran. Sin embargo, las metodologías utilizadas para la producción de los abonos orgánicos son tan variadas como los ecosistemas naturales y las comunidades que los respaldan. Por esto, la implementación de las

diferentes prácticas productivas deben ser consideradas y evaluadas, ya que se requiere entender cómo trabajan los productos en los sistemas vivos y dinámicos, en vez de simplemente seguir “recetas”.

La producción de bioproductos líquidos (bioles) se realiza apoyada en procesos de fermentación aerobia y anaerobia, con el uso de diferentes insumos, incluida la incorporación de microorganismos capturados del suelo y en otros casos los provenientes del rumen del ganado bovino, es decir la forma de preparación es propia de cada agricultor, según sus posibilidades y los recursos locales. Sin embargo, en la mayoría de los casos su proceso de elaboración no está estandarizado, por lo que la calidad de los productos finales es muy variable. Esto último constituye un problema, ya que la aplicación de abonos a partir de excretas animales sin tratar o tratadas inadecuadamente representa un peligro para el medio ambiente y para la salud humana (Soto y Meléndez, 2004).

Al respecto, se evidencia la existencia de una brecha tecnológica considerable, ya que estos productos vienen siendo aplicados sin criterio técnico, empleando las mismas dosis en diferentes cultivos, sin conocer las diferencias que puedan existir en las características químicas y biológicas, ni teniendo en cuenta que provienen de procesos diferentes. Es importante considerar que para desarrollar la agricultura orgánica se necesita combinar el conocimiento tradicional campesino, la experiencia práctica del agricultor con los conocimientos que la ciencia ha desarrollado, y el análisis y diagnóstico de los especialistas en diversos campos agronómicos, ya que la incorporación a la agricultura orgánica tiene sus costos de aprendizaje e implementación.

El proyecto busca optimizar los procesos de producción y utilización de los productos orgánicos, de tal forma que se articulen las experiencias existentes adelantadas por los productores a un proceso de investigación científica formal con resultados estadísticamente confiables, que apoye los procesos y metodologías participativas adelantadas desde hace cinco años en el Caribe colombiano.

En este sentido se realizó la caracterización de un compuesto orgánico “bio” producido en forma artesanal por pequeños agricultores en el departamento del Magdalena, cuantificando la concentración de nutrientes y caracterización de las poblaciones de microorganismos durante el proceso de producción y se estudió la estabilidad química y biológica de dicho producto a través del tiempo.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

La International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) define como agricultura orgánica a “todos los sistemas agrícolas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles desde el punto de vista ambiental, social y económico.” Estos sistemas parten de la fertilidad del suelo como base para una buena producción respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje que buscan optimizar la calidad de la agricultura y el medio ambiente en todos sus aspectos. La agricultura orgánica reduce las necesidades de aportes externos al no utilizar abonos químicos ni plaguicidas u otros productos de síntesis. En su lugar, permite que sean las leyes de la naturaleza las que incrementen tanto los rendimientos como la resistencia de los cultivos" (IFOAM s.f.).

Algunas de las estrategias de la agricultura orgánica son: 1) aprovechar especies rústicas, adaptadas a tecnologías que utilicen y economicen insumos y materiales de la región, 2) potencializar y maximizar los beneficios que aporta la autorregulación natural de la microbiología del suelo, 3) mejorar y mantener las características del suelo, 4) conservar el suelo mediante la planificación de su uso, de acuerdo con la capacidad de soporte y aplicación de técnicas vegetativas y mecánicas y 5) considerar y respetar las actividades agropecuarias de alelopatía, alelopolía, trofobiosis, homeostasis, reciclaje y recuperación de nutrimentos; el mantenimiento del equilibrio poblacional de la fauna y la flora; y el equilibrio nutricional (Restrepo, 2000).

1.1 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo está constituida por todo tipo de residuos, sean estos de origen animal y vegetal, desperdicio de cosechas, macro, meso y microorganismos en diferentes estados de transformación pudiendo originarse en la actividad agrícola, pecuaria y/o agroindustrial. Un material se considera abono o enmienda cuando es incorporado al suelo con el objeto de proporcionar nutrientes, actuar sobre las características físicas y químicas, además de estimular procesos metabólicos en las plantas (Burbano, 1989; Gajdus, 1992; Funes, 1997).

El suelo es un medio vivo donde la microflora y microfauna tienen un papel activo. Los aportes de materia orgánica actúan no solamente sobre la disponibilidad del nitrógeno del suelo, sino también sobre la evolución de los microorganismos útiles o los patógenos. La materia orgánica interviene igualmente en la biodegradación de los productos fitosanitarios. La gestión de la materia orgánica es particularmente importante en el mantenimiento del humus, la satisfacción de las

necesidades de las plantas y la limitación de la erosión del suelo, (Villeneuve, 1997).

1.1.1 Efecto sobre el suelo. Los suelos del Caribe colombiano, poseen generalmente, bajos contenidos en materia orgánica, que tienden a disminuir debido a las pérdidas que se producen por mineralización de la misma, a las labores agrícolas, a la relativa poca importancia actual del estercolado, así como al empleo preferente de abonos minerales de origen industrial. Esta disminución de la materia orgánica en los suelos se traduce en un deterioro de las propiedades físicas y químicas de los mismos, así como en su mayor erosionabilidad, con la consiguiente pérdida de productividad a medio y largo plazo (Barón *et al.*, 1995). Estas prácticas están convirtiendo paulatinamente la agricultura tradicional en un ejercicio de tendencias claramente insostenibles. Por ello, la utilización de materia orgánica está sobradamente justificada.

Pero, desde el punto de vista de las plantas, conviene distinguir entre los efectos indirectos y directos de las sustancias húmicas. Centrándonos en el primer grupo, la materia orgánica humificada puede mejorar la fertilidad del suelo a través de su efecto sobre diversas propiedades del mismo como:

1. Aporte de nutrientes (N, P, S, etc.) a las raíces (Varanini y Pinton, 1995).
2. Mejora de la estructura del suelo incidiendo, de ese modo, en la relación agua-aire en la rizosfera (Piccolo y Mbagwu., 1997).
3. Incremento de la actividad microbiana (Ocio y Brookes., 1990).
4. Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de la capacidad tampón-pH del suelo (Barón *et al.*, 1995).
5. Formación de complejos estables con Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y otros cationes polivalentes y aumento así de la disponibilidad de micronutrientes para las plantas (Albuzio *et al.*, 1994).
6. Aporte de sustancias húmicas que actúan como transportadoras de nutrientes (Varanini y Pinton, 1995).
7. Oscurecimiento del suelo, de manera que se facilita su calentamiento (Gallardo, 1980).
8. A través de su combinación con plaguicidas puede afectar su bioactividad, persistencia y biodegradabilidad (Hunchak-Kaiouk y Suffet., 1994; Deschauer *et al.*, 1994; Carlsen *et al.*, 1994).

1.2 BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS

Los biofertilizantes líquidos son definidos como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potencializadoras de diversos nutrientes o productos de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo. El objetivo es el de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que puedan ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Martínez, 2002).

Los biofertilizantes líquidos (biol) se originan a partir de la fermentación de materiales orgánicos, dentro del cual, los tres ingredientes básicos que se encuentran son estiércol, suero de leche o leche cruda y melaza o jugo de caña de azúcar. El estiércol más comúnmente utilizado es el de bovinos. Éste es rico en nitrógeno, fósforo y potasio y presenta muchos microorganismos ruminales (si es fresco). El suero y la leche cruda poseen microorganismos lácteos. Estos microorganismos funcionan como controladores de pH y cumplen una función importante en el proceso de fermentación (Usugami 1999). La melaza y/o el jugo de caña de azúcar proveen de energía a los microorganismos ruminales; es decir, actúan fundamentalmente como aceleradores del proceso de fermentación (Cho, 1999).

La fermentación ocurre sin aceptor externo de electrones, es un proceso anaeróbico; el compuesto orgánico fermentable se oxida parcialmente y el microorganismo solo obtiene una cantidad pequeña de energía, la restante queda en productos intermedios de oxidación y una parte se manifiesta en forma de calor (Sánchez *et al* 2001). En consecuencia, la fermentación es un proceso de liberación de energía en ausencia de oxígeno (Starr, 1997). Se trata de una oxidación biológica ejecutada por una sucesión dinámica y rápida de poblaciones microbianas. Durante el proceso de fermentación, los compuestos orgánicos que se producen de residuos sólidos urbanos, se pueden dividir en: a) solubles en agua, como los azúcares simples mono y disacáridos (sacarosa, lactosa y glucosa), que bajo acción enzimática producen abundante CO₂, b) poco solubles en agua, son de fermentación más lenta y componen las hemicelulosas, el almidón y las sustancias pépticas y por último c) las insolubles en agua, donde se ven la lignina y la celulosa presentes en papeles, cartones, embalajes y otros materiales (Azozarena *et al.*, 2002). La biofermentación es un tipo de fermentación en la cual se produce la degradación de materiales orgánicos tales como el estiércol, el suero de leche, el jugo de caña o de frutas (Restrepo, 2001).

Los biofertilizantes fermentados líquidos son elaborados con diferentes microorganismos, los que tienen un efecto positivo sobre algunos procesos de descomposición y síntesis que se dan en el suelo. Habitualmente, estos microorganismos corresponden a una o más cepas o especies y se colocan inicialmente en medios de cultivo específicos para luego ser aplicados a un soporte o sustrato inerte (suelo, semillas, follaje, etc.) que aporta la energía necesaria para asegurar su supervivencia y multiplicación, acelerando así el proceso de formación del abono (Chavarría y Uribe, 2003). Los biofertilizantes líquidos habitualmente se aplican directamente sobre los cultivos vía foliar, aunque también pueden ser aplicados al suelo, preferentemente cuando estén con coberturas (Restrepo, 2001). Martínez, 2002, sugiere que este tipo de fertilizantes, al ser aplicados sobre el follaje, presentan la ventaja de resultar prácticos y eficientes, comparados con su aplicación vía radical, ya que dosis tan bajas dificultan su aplicación de manera uniforme.

Los biofertilizantes líquidos se utilizan, fundamentalmente, como medida 1) correctiva, para superar deficiencias evidentes de nutrimentos, 2) preventiva, cuando se conoce de la deficiencia de un determinado nutrimento en el suelo, 3) sustitutiva, para suplir las exigencias del cultivo, 4) complementaria, para complementar el abono que se coloca en el suelo, 5) complementaria en estado reproductivo, para suplir de nutrimentos extra durante la época de floración y formación de frutos/semillas y 6) estimulante, cuando se aplican formulaciones de nitrógeno, fósforo y potasio en bajas dosis a plantaciones de alta productividad.

En la actualidad, los productores han implementado algunas variantes en relación a la preparación de estos (Restrepo, 2001) mientras que otros adicionan algunos otros materiales para enriquecerlos, de acuerdo con las necesidades nutricionales requeridas por las plantas cultivadas. Los biofertilizantes enriquecidos contienen mayor variedad de elementos nutritivos, si se compara con los comerciales, por ejemplo se pueden encontrar minerales (B, Mg, Zn, Mn, Cu, S, N, y otros), aminoácidos, vitaminas y hormonas que son componentes indispensables para que las plantas crezcan sanas y equilibradas, sin que el funcionamiento de su metabolismo sea alterado (Restrepo, 2001, Martínez y Dibut, 1995).

Los biofertilizantes bacterianos son productos a base de cepas seleccionadas de microorganismos, que viven normalmente en el suelo, aunque en bajas poblaciones. Al incrementarse sus poblaciones por medio de la inoculación artificial, los biofertilizantes son capaces de poner a disposición de las plantas, mediante sus actividades biológicas, una parte importante de las sustancias nutritivas que necesitan para su desarrollo (Martínez, 2002). Además, los biofertilizantes bacterianos presentan mecanismos de acción que contribuyen a su mejor efectividad, tales como fijación biológica de nitrógeno atmosférico, solubilización del fósforo, entre otras (Martínez, 2002).

Los biofertilizantes al actuar también como hormona vegetal (fitohormona), aumentan el número y calidad de las raíces de muchas plantas. Con ello, se mejora e incrementa su capacidad de nutrición y resistencia a las condiciones del medio. Aplicado sobre las plantas repele a muchos insectos que pueden causar daños a los cultivos.

En Cuba se utilizan biofertilizantes preparados a base de: a) cepas de *Azotobacter* que se aplican en hortalizas, yuca, boniato, maíz, arroz y cítricos y son capaces de suministrar a los cultivos entre 15-50% de sus necesidades de nitrógeno, gracias a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico; b) mezcla de microorganismos solubilizadores de fósforo, que se aplican también en hortalizas, yuca, boniato, viveros de café y viveros de plantaciones de cítricos que permiten reducir entre 50-100% las necesidades de fertilizante fosfórico, al mismo tiempo que son capaces de estimular los rendimientos; c) biofertilizantes con cepas de *Rhizobium*, específicas para frijol, maní, frijol carita y abonos verdes que pueden sustituir 75-80% del fertilizante nitrogenado mediante su actividad de nitrógeno atmosférico, d) preparados de cepas de *Azospirillum*, con los que puede sustituirse hasta 25% del fertilizante nitrogenado en el arroz con la sustitución de una aplicación y ligero incremento del rendimiento y e) preparados con *Micorrizas Arbusculares* generalizados en viveros, que hace innecesaria la aplicación de fertilizante fosfórico y reducen las necesidades de fertilizantes nitrogenados y potásicos (Martínez y Dibut,1995).

En Colombia se han hecho adelantos al respecto, y específicamente en la Costa Caribe, los grupos de productores asociados en la Cooperativa COOGRUPADI, acompañados por el equipo de investigadores de CORPOICA, expresan que para la elaboración de biofertilizantes y abonos orgánicos se emplean microorganismos nativos, que se aíslan del suelo, los cuales se pueden multiplicar cultivándolos y los emplean en forma directa, o en la preparación de otros productos como los bioles y los bokashis. (Informe final, proyecto Alianza FPAA-Corporación PBA, 2005; Informe final ASOHOFrucol, proyecto Convenio TR-577,2005).

La experiencia adquirida a partir de la alianza entre la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL- Guayaquil, Ecuador) y la Hacienda "La Hormiga", transmitida a un grupo de productores líderes en la Costa Atlántica, generó la adopción de la utilización del biofertilizante líquido. Las asociaciones de productores con proyectos cofinanciados por la Alianza Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez y la Corporación PBA, afirman que para elaborar el Biol es necesaria una instalación sencilla de una caseta de material donde puedan albergarse tanques plásticos de 220 litros. Estos tanques tienen una tapa hermética para evitar la entrada de aire, a la cual se le hace un acondicionamiento de válvulas de escape para los gases de la fermentación y dado que se debe evitar la entrada del aire al tanque, la válvula debe estar conectada con una manguera que se introduce en una botella con suficiente agua y se cuelga fuera del tanque. La válvula de escape

permite que los gases de los fertilizantes salgan en forma de burbujas a través del agua contenida en la botella. La salida de los gases se facilita debido a que la presión del gas en el interior del barril es más fuerte que la presión creada por el sello de agua en la botella. Sin embargo, el aire no puede ingresar al barril debido a que el sello de agua en la botella se lo impide (Restrepo, 2001; Pacheco, 2003).

1.3 MICROORGANISMOS EFICIENTES

Los microorganismos eficientes (EM) son inoculantes microbianos que tienen diversos usos en agricultura, ganadería, agroindustria y en aplicaciones ambientales. Contiene especies seleccionadas de levaduras, bacterias ácido lácticas, en menor cantidad bacterias fotosintéticas, actinomicetos y hongos, estos microorganismos son compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido.

Los microorganismos benéficos o eficientes (EM) han sido utilizados en agricultura con éxito para el mejoramiento de la productividad de sistemas agrícolas, orgánicos o naturales. Estos, aplicados directamente para la preparación de bioinsumos basados en la utilización de materia orgánica tales como compost, bioles y Bokashi (materia orgánica fermentada) reducen el tiempo de preparación de los mismos haciendo más eficiente el proceso. Además, la utilización de microorganismos benéficos como base de bioinsumos se ha convertido en una herramienta para que los agricultores puedan sustituir el uso de agroquímicos y tener una agricultura orgánica sostenible debido a que estos microorganismos ayudan a reestablecer el equilibrio microbiológico del suelo mejorando sus condiciones físicas y químicas, incrementando la producción y potenciando el sistema fisiológico de los cultivos protegiéndolos de enfermedades, además de conservar los recursos naturales. (Usogami, 1999).

En un primer intento de aprovechar los microorganismos benéficos del suelo se desarrolló el concepto microorganismos eficientes (EM) por el profesor Teruo Higa de la Universidad de Ryukyus, en Okinawa (Japón). Estudiando las funciones individuales de diferentes microorganismos, encontró que el éxito de su efecto potencializador estaba en su mezcla. Los EM se componen de culturas mixtas benéficas y que existen en la naturaleza, que pueden aplicarse como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana en plantas y suelos. Las investigaciones realizadas han demostrado que la inoculación con los microorganismos contenidos en el EM al ecosistema (constituido por el suelo y las plantas) puede mejorar la calidad y la salud de los suelos, así como el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos; algunos efectos demostrados de los EM son: promueven la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas, mejora física, química y biológicamente el ambiente de los suelos y suprime los patógenos y plagas que promueven enfermedades, aumentan la

capacidad fotosintética de los cultivos, asegura mejor germinación, desarrollo de las plantas e incrementan la eficacia de la materia orgánica como fertilizante.

Los EM contienen especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*), levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, bacterias fotosintéticas o fototrópicas (*Rhodopseudomonas plastrus*, *Rhodobacter spaeroides*), actinomicetes (*Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus*) y otros tipos de organismos como los hongos fermentadores (*Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*). Todos ellos mutuamente compatibles unos con otros, coexistiendo en un cultivo líquido y ejerciendo una función específica o común. (Adrew K, 2002).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

En la Estación Experimental Caribia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, localizada en el corregimiento de Sevilla, Municipio Zona Bananera, Departamento del Magdalena, con coordenadas geográficas 10° 46' 00" de latitud Norte y 74° 8' 00" de longitud oeste, el ensayo se realizó entre Octubre de 2007 y Febrero de 2008. El relieve es plano, ubicándose en la clasificación agro ecológica de bosque seco tropical (Bs-T) (Holdridge), con 20 m.s.n.m., precipitación promedia anual de 1300 mm, temperatura media anual de 28° C, humedad relativa de 82%, brillo solar de 2000 horas sol / año y evaporación de 1500 mm anuales. Es una zona influenciada por fuertes vientos alisios. Los meses de verano intenso o secos van de Diciembre a Marzo; los de mayor lluvia de Abril a Junio y de Agosto a Noviembre.

2.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

La experimentación se diseñó bajo un sistema factorial en bloques completos al azar, con dos factores y tres repeticiones: Factor A. Días de fermentación; Factor B: Días de almacenamiento, relacionados en la Tabla 1.

2.2.1 Descripción de tratamientos

2.2.1.1 Factor Fermentación. Se muestrearon 15 tanques se distribuidos en 5 tratamientos correspondientes a días de fermentación (ddf), cada uno con tres repeticiones, así:

Tratamiento 1: 20 ddf

Tratamiento 2: 30 ddf

Tratamiento 3: 45 ddf

Tratamiento 4: 60 ddf

Tratamiento 5: 75 ddf

Tabla 1. Relación de tratamientos de biol anaerobio de acuerdo al tiempo de fermentación y tiempo de almacenamiento para caracterización química y biológica.

Tanque/Tratamiento	Factor A Días fermentación	Factor B Días almacenamiento de
1	20	10-20-30-45-60-75
2	30	10-20-30-45-60-75
3	45	10-20-30-45-60-75
4	60	10-20-30-45-60-75
5	75	10-20-30-45-60-75

2.2.1.2 Factor Almacenamiento. Se evaluaron 6 tratamientos, correspondientes a días de almacenamiento (dda), correspondiente a cada uno de los tiempos de fermentación, así:

Tratamiento 1: 10 dda

Tratamiento 2: 20 dda

Tratamiento 3: 30 dda

Tratamiento 4: 45 dda

Tratamiento 5: 60 dda

Tratamiento 6: 75 dda

Se colectaron muestras en cada uno de los tiempos establecidos, para la cuantificación química y biológica del compuesto.

2.3 MANEJO DEL EXPERIMENTO

En 15 recipientes plásticos de 25 litros de capacidad, se agregó en cada uno 6 kg de estiércol de bovino fresco, 0.5 kg de material vegetal (follaje de leucaena), 500g de ceniza, 500 cc de melaza, 500 cc de suero dulce, 0.5 litros de rumen, 150 g de harina de trigo, 75 g de sal común, 500 g de afrecho de maíz, se mezcló y completó con agua hasta aforar al volumen de cada tanque. Se taparon herméticamente para el inicio del proceso de fermentación. A las tapas de los tanques se les adaptó una válvula de 7cm de largo y de ½ pulgada de diámetro, acoplada a una manguera transparente, la cual es la encargada de evacuar los gases que se forman durante el proceso de fermentación, con salida a una botella de plástico con agua, donde se visualizaba a través del burbujeo la salida de dichos gases (Figura 1).

Figura 1. Diseño de tanque de fermentación utilizado y distribución de tratamientos en el área de producción de compuestos orgánicos. E.E Caribia CORPOICA, 2007.



Al momento de coleccionar el producto de cada fermentación, se agitaron y mezclaron bien los componentes del tanque, se pasaron por dos tamices, para obtener el producto líquido sin residuos sólidos. Se envasaron en canecas de plástico, manteniendo la identificación respectiva para cada tanque, conservadas a

temperatura ambiente. De esta manera quedaron 15 canecas plásticas azules (figura 2), en las que se colectaron muestras de cada tanque correspondientes a: 500 cc para las determinaciones químicas y 200 cc para la cuantificación de microorganismos.

Figura 2. Distribución de tratamientos en tanques de almacenamiento del compuesto orgánico. E.E Caribia CORPOICA, 2007.



2.4 ANALISIS ESTADISTICO DE LA INFORMACION

La información generada en la etapa de fermentación, se analizó estadísticamente bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los valores obtenidos en las variables biológicas, se transformaron a $\sqrt{+1}$, y se les realizó un anova acorde con Steel y Torrie (1980), mediante el uso del paquete estadístico de SAS. Se realizaron Anova, pruebas de comparación de medias de Duncan, correlaciones y regresiones, apoyado en el curveExpert, seleccionando el mejor ajuste y análisis de componentes principales.

2.5 VARIABLES DE RESPUESTA

2.5.1 Características químicas. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de CORPOICA Tibaitatá, ubicado en Bogotá. Se realizaron las siguientes determinaciones, con los métodos descritos a continuación:

- **pH:** Potenciómetro
- **Conductividad eléctrica:** Conductímetro.
- **Nitrógeno:** Fenol básico e hipoclorito.
- **Fósforo:** Bray I.
- **Calcio, magnesio, potasio y sodio:** espectrofotometría de absorción atómica.
- **Azufre:** Turbimétrico, cloruro de bario.
- **Boro:** espectrofotometría UV-VIS por el método de la Azometina H.
- **Hierro, cobre, manganeso y zinc:** espectrofotometría de absorción atómica.
- **Materia orgánica:** Walkley – Black, oxidación de la materia orgánica con solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, determinación por espectrofotometría UV-VIS.

2.5.2 Características biológicas. Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Microbiología y Fitopatología de CORPOICA E.E. Caribia. Se realizaron las siguientes determinaciones:

- **Recuento de colonias fungosas y levaduras:** se realizó mediante preparación de diluciones en serie (Benjumea, 1998), desde 10^{-1} hasta 10^{-9} . Se transfieren alícuotas de 1ml de cada una de las diluciones consecutivas en cajas de petri estéril. En 4 cajas petry y tres repeticiones, se vierten 20ml de agar oxitetraciclina glucosa extracto de levadura (OGY), fundido y mantenido a 45°C , se mezcla el inóculo con el medio de cultivo fundido. Una vez solidificado el medio de cultivo, se invierten las placas y se incubaron a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (temperatura ambiente) durante 5-7 días y se

procedió a realizar los conteos y el cálculo ponderado del Número de U.F.C*ml⁻¹.

- **Recuento de colonias bacterianas:** se prepararon diluciones en serie desde 10⁻¹ a 10⁻⁹ utilizando 4 cajas como unidad experimental, y tres repeticiones. El medio de cultivo consistió de 20ml de agar nutritivo, fundido y mantenido a 45 °C. Se mezcló el inóculo con el medio de cultivo fundido moviendo la caja petri de arriba hacia abajo 5 veces, después rotándolas 5 veces en el sentido de las agujas del reloj y 5 veces en el sentido contrario. Una vez solidificado el medio de cultivo, se invierten las placas y se incubaron a 37 °C durante 24-48 horas, tiempo a partir del cual se contabilizaron las colonias bacterianas desarrolladas en cada una de las diluciones.
- **Recuento de colonias de actinomicetos:** son el mismo procedimiento empleado para hongos y bacterias, se prepararon diluciones desde 10⁻¹ hasta 10⁻⁷ con agua destilada estéril. El medio de cultivo consistió de 20ml de Agar C' Zapec, fundido y mantenido a 45 °C. Luego de sembrado, se incubó a 25 °C \pm 2 °C (temperatura ambiente) durante 7-10 días, tiempo a partir del cual se efectuaron los conteos respectivos.
- **Recuento colonias de fijadores de nitrógeno:** con el mismo procedimiento empleado para actinomicetos, se empleó el medio de cultivo ASHBY (agar manitol) (Benjumea, 1998).
- **Coliformes totales y fecales:** se utilizó el método del Número más probable (NMP), para ello se prepararon 9 tubos con 9ml de caldo lactosado bilis verde brillante al 2% (BRILA) conteniendo un tubo de fermentación Durham de los cuales 3 tubos recibieron 1ml de la dilución 10⁻¹, los otros 3 1ml de la dilución 10⁻², y los restantes de la dilución 10⁻³ y se incubaron a 35 °C \pm 2 °C por 24-48 horas. Pasado este tiempo, se contabilizaron los tubos que mostraron producción de gas, y a partir de los tubos positivos, con producción de gas de la prueba del NMP de coliformes totales, se transfirieron de cada tubo una asada de cultivo en Caldo lactosado bilis verde brillante al 2% conteniendo un tubo de fermentación Durham, sembrando por estría de cada uno de los tubos en la superficie de una placa de agar eosina azul de metileno (EMB). Se incubaron a 44.5°C \pm 0.5 °C por 24-48 horas. Se confirmó la presencia de *Escherichia coli* por el crecimiento de colonias verdosas con brillo metálico con el centro negroazulado a la luz transmitida en el agar EMB.

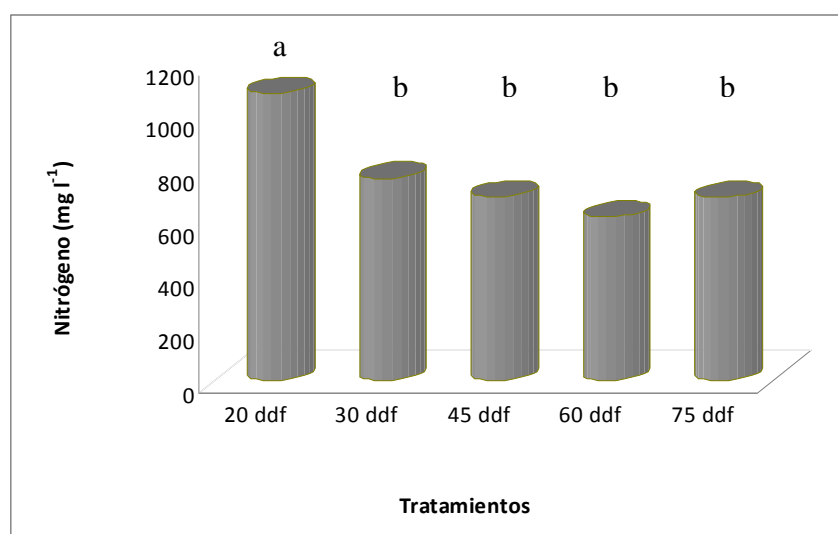
3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan teniendo en cuenta los factores evaluados, es decir en primer lugar se describirá la caracterización química de los tratamientos de fermentación, equivalentes a cinco etapas diferentes y las de su almacenamiento respectivo. En segundo lugar, se analiza el comportamiento biológico durante la fermentación y almacenamiento; finalmente las relaciones entre las diferentes variables evaluadas en las etapas de fermentación y almacenamiento del compuesto orgánico "biol", producido por los pequeños productores del departamento del Magdalena.

3.1 CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL COMPUESTO ORGANICO A DIFERENTES TIEMPOS DE FERMENTACION.

3.1.1 Nitrógeno. El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas al 0,05 para el contenido de nitrógeno, en los diferentes tiempos de fermentación, como se observa en la prueba de comparación de medias de la Figura 3, en la que el contenido de Nitrógeno inicia con $1082 \text{ mg N} \cdot \text{l}^{-1}$ a los 20 días y disminuye gradualmente hasta $616 \text{ mg N} \cdot \text{l}^{-1}$ a los 60 días, posteriormente hay un leve incremento a los 75 días de fermentación, con valores de $690 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. El contenido de N a partir de los 30 ddf no es diferente estadísticamente, que el encontrado a los 75 ddf.

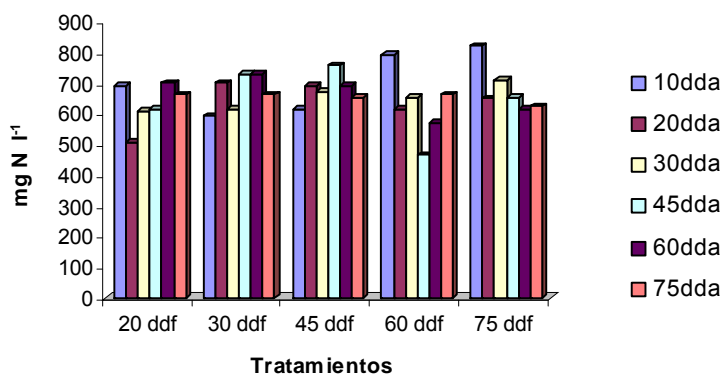
Figura 3. Contenido de Nitrógeno en el compuesto orgánico "biol" sometido a diferentes días de fermentación



Una vez cosechados los compuestos orgánicos de cada uno de los tratamientos de fermentación y almacenados bajo condiciones ambientales, presentaron variaciones en los contenidos iniciales de nitrógeno, representados en la figura 4, en la que se aprecia, que a partir de los 10 días después de almacenamiento, los contenidos de este nutriente disminuyen o aumentan dependiendo del tratamiento final de fermentación anaeróbica. El anova mostró diferencias estadísticas altamente significativas al 0,01 en la interacción tiempo de almacenamiento y tiempo de fermentación, en relación con el contenido de nitrógeno, resultados que se explican apoyados en Alexander (1980), quien expresa que el nitrógeno se degrada lentamente hacia formas amoniacales provocando variaciones de las formas orgánicas, con el tiempo de almacenamiento.

En este orden de ideas, los resultados obtenidos permiten proponer como rango de calidad un contenido mínimo de $700 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de nitrógeno, en este compuesto orgánico.

Figura 4. Contenido de N en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales

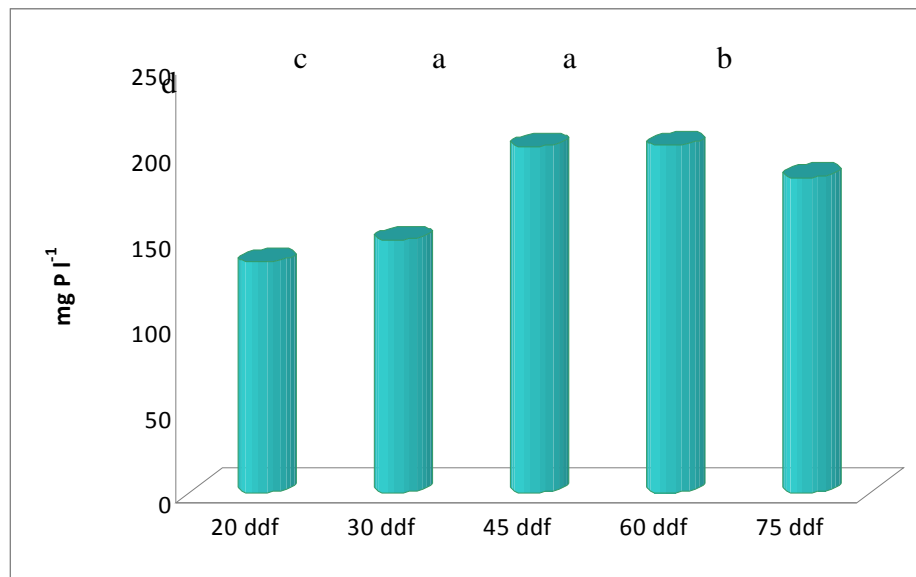


A fin de aportar a la discusión, se realizó una prueba de comparación de medias y un análisis de regresión del contenido de nitrógeno entre los 20 días, hasta los 150 días, representados en el anexo 4, donde se visualiza la disminución del contenido de nitrógeno en la medida en que transcurre el tiempo; la ecuación logarítmica calculó un r^2 de 0,84, lo que indica que el comportamiento de este elemento en el tiempo, tiene una tendencia exponencial cuyos valores reales están ajustados en un 84% con respecto a los calculados. El contenido de nitrógeno decrece por la alta actividad microbiana y el consumo por bacterias y otros organismos que lo necesitan para la formación de biomasa (Matsuzaki, 2001). Los contenidos de nitrógeno son bajos para todos los casos, comparados con los $920 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ obtenidos para este tipo de productos en Perú, por parte de Restrepo (2000), quien empleó como materia prima, guano en mayor cantidad a la

utilizada en este ensayo, materia prima que posee adicionalmente composición química diferente.

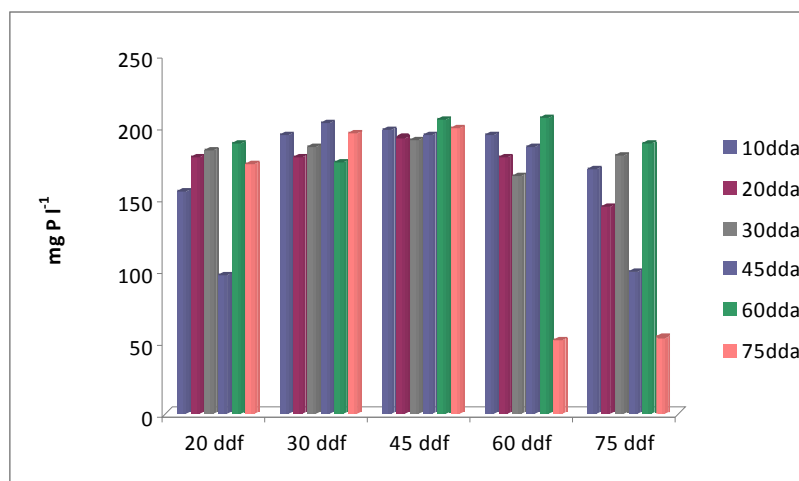
3.1.2 Fósforo. El análisis de varianza (Anexo 1), indica que existen diferencias altamente significativas al 0,01 entre los tiempos de fermentación evaluados; la prueba de comparación múltiple de Duncan representada en la figura 5, muestra que entre los 45 y 60 ddf no existen diferencias y presenta los contenidos más altos; a los 20 días después de la fermentación, el contenido de fósforo es de 134 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y se incrementa hasta 202 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a los 60 días, luego desciende lentamente hasta los 75 días.

Figura 5. Contenido de Fósforo, entre los 25 y 75 días de fermentación, del compuesto orgánico “biol”, producido artesanalmente.



Las variaciones en el contenido de fósforo de cada uno de los tratamientos de fermentación y almacenados bajo condiciones ambientales, se muestran en la figura 6, en la que se aprecia, que los contenidos más bajos resultan en el biofermentado producido a los 60 y 75 días y almacenado hasta 75 días después, tendencia que puede estar explicada en razón de las condiciones de los sustratos y de las poblaciones de microorganismos, debido a su utilización como nutriente. No obstante, se observó que los contenidos del “biol” producido hasta los 45 ddf, mantiene niveles más estables en comparación con los demás tratamientos.

Figura 6. Contenido de fósforo en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.

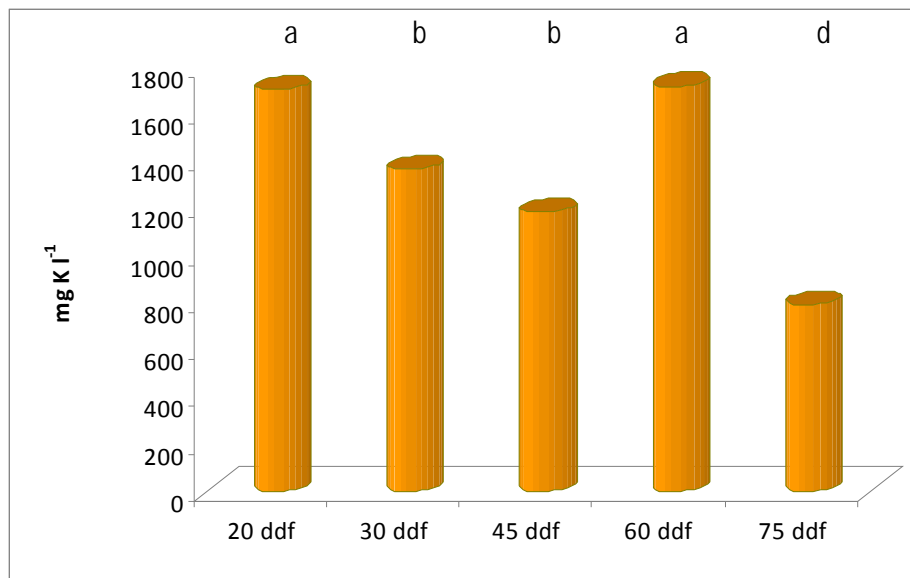


Estadísticamente, el anova mostró que existe una interacción altamente significativa ($p < 0.01$) entre el tiempo de fermentación y el almacenamiento, el cual se complementó, con el análisis de regresión representado en el anexo 5, donde los datos obtenidos, se ajustan 88% respecto a los calculados bajo una ecuación cuadrática, en la que se aprecia el grado de disminución del contenido de fósforo después de los 85 días, debido al consumo de este elemento, por parte de la población de microorganismos, como parte del metabolismo de los mismos (Matsuzaki, 2001), resultados que sugieren no debe superar este tiempo de almacenamiento.

3.1.3 Potasio. El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos, y la prueba de comparación múltiple de Duncan, indicó que el contenido de potasio a los 75 días de iniciado el proceso de fermentación, es de $792 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ menor y estadísticamente diferente respecto a los tratamientos restantes; así mismo, entre los 30 y 45 días de fermentado el compuesto orgánico, no existe diferencia entre ellos, pero sí lo es con relación a los 20 y 60 días de fermentación.

La figura 7, muestra el comportamiento del contenido de potasio, el cual inicia con $1701 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, luego decrece a 1.181 y vuelve a aumentar a los 60 días a $1.717 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, donde obtiene el máximo contenido. La tendencia encontrada pudo ser el resultado de las condiciones de los sustratos y de las poblaciones microbianas, ya que según lo anotado por Aguado (2005), el contenido de este elemento en condiciones de anaerobiosis, está asociado a la captura y liberación de fósforo, por parte de bacterias.

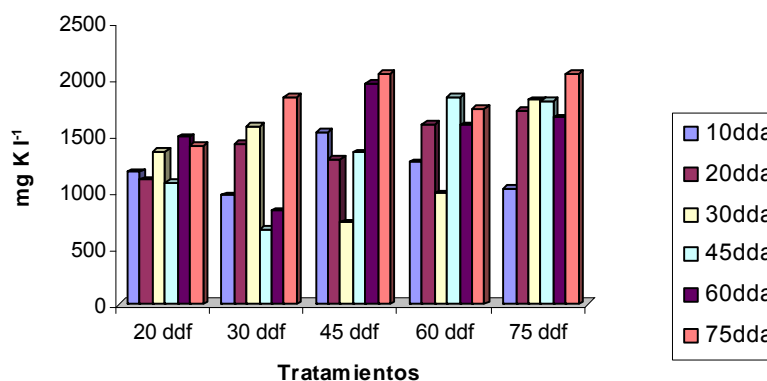
Figura 7. Contenido de Potasio, entre los 25 y 75 días de fermentación, del compuesto orgánico “biol”, producido artesanalmente.



Una vez cosechados y almacenados bajo condiciones ambientales, presentaron variaciones diversas, apreciadas en la figura 8, en la que se muestra que existe tendencia a incrementarse, en la medida en que transcurre el tiempo. El anova mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) en la interacción tiempo de almacenamiento y tiempo de fermentación, respecto al contenido de potasio, y a partir de los 85 días se incrementa con valores superiores a $1800 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ después de los 130 días. Esto puede indicar, que las condiciones de almacenamiento no degradan este nutriente, tendencia que puede estar explicada por el uso de tejido foliar fresco (leucaena), el cual en la medida en que transcurre el tiempo, se va descomponiendo y por ende aumenta. Complementario a lo anterior, el análisis de regresión del contenido de potasio entre los 20 y 150 días, mostró una ecuación cuadrática con un r^2 de 0,68.

Con base en estos resultados, se propone que un biol producido en estas condiciones, debe contener al menos $1.300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de potasio. Cabe anotar que el contenido de éste nutriente, se puede incrementar adicionando mayor contenido de follaje junto con ceniza, los cuales son sustratos de mayor accesibilidad por parte de pequeños productores, e inclusive incorporar otras fuentes que proporcionen más potasio a este compuesto orgánico, dada la importancia de contar con un bioinsumo rico en este elemento.

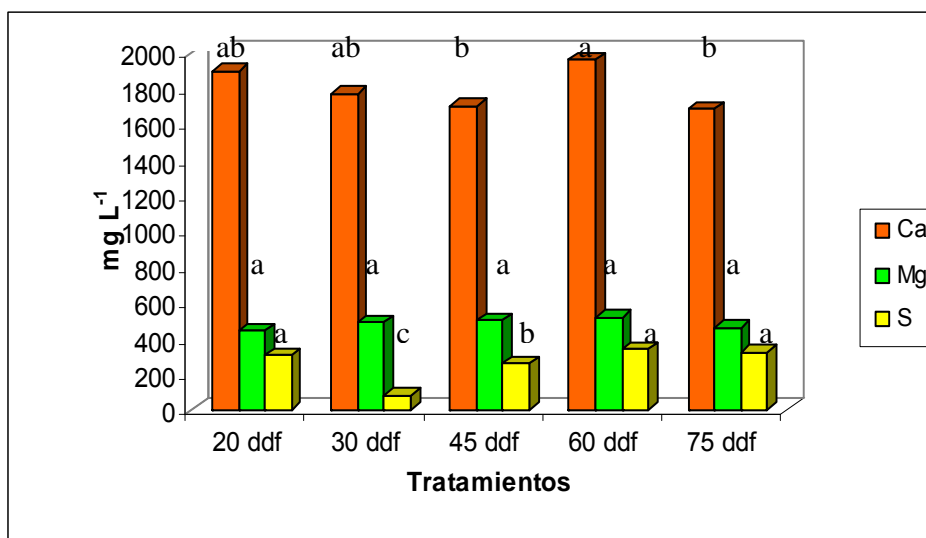
Figura 8. Contenido de potasio en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.1.4 Calcio, magnesio y azufre. En los cinco tratamientos evaluados el contenido de calcio osciló entre $1.685 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y $1.960 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, con diferencias estadísticas altamente significativas entre los mismos, siendo que a los 75 días después de iniciado el proceso de fermentación, el contenido de calcio es el menor entre todos los tratamientos evaluados. La figura 9, esquematiza los valores medios reportados en los análisis químicos respectivos. El compuesto orgánico preparado, no presenta diferencias estadísticas entre los 20 ddf, 30 ddf y 60 ddf, sin embargo existe diferencia entre 60 ddf y 45 ddf, así como también entre 60 ddf y 75 ddf, probablemente por las condiciones de los sustratos (estiércol y tejido foliar de leucaena) utilizados en la preparación.

El contenido de magnesio en el compuesto orgánico osciló entre $441 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y $517 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, sin diferencias significativas entre los cinco tiempos de fermentación. Respecto al contenido de azufre, las caracterizaciones químicas reportaron valores entre $79 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y $341 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, rangos reflejados en diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. La prueba de comparación múltiple de Duncan, indicó que los niveles de este nutriente a los 20 ddf, 60 ddf y 75 ddf, no son diferentes significativamente entre ellos, pero si con relación a los 30 ddf y 45 ddf.

Figura 9. Contenido de calcio, magnesio y azufre, entre los 25 y 75 días de fermentación, del compuesto orgánico “biol”, producido artesanalmente.



La figura 10, muestra el contenido de azufre en el compuesto orgánico, una vez es almacenado bajo condiciones ambientales, observando que existe variaciones en las cantidades presentes en el transcurso del tiempo, principalmente en los que son preparados a los 20 y 30 días después de fermentación, también se aprecia que el biol que se produjo con 45 ddf, presentó menores variaciones en su contenido, con relación a los tratamientos restantes. Este comportamiento es explicado por Sánchez M (2001), quien afirma que las condiciones anaerobias de los purines, favorecen la presencia de microorganismos sulfito-reductores y mineralizadores anaerobios del azufre orgánico, entre otros, que proporcionan esta variabilidad en el contenido presente.

El anexo 10 y 11, muestra los resultados obtenidos a partir de la prueba de comparación múltiple de Duncan, para calcio, magnesio y azufre, respectivamente; así mismo la curva polinomial de tercer grado, con valores r^2 0,65, se encontró que a partir de los 105 días, la concentración disminuye rápidamente hasta los 150 días, por lo tanto el tiempo de almacenamiento no debe superar los 85 días.

3.1.5 Hierro, cobre y manganeso. El análisis de varianza de estos tres microelementos presentó diferencias significativas al 0,05, en relación con el tiempo de fermentación evaluado; la prueba de comparación múltiple de Duncan mostró que no existen diferencias estadísticas a los 20ddf, 30ddf, 60ddf y 75ddf tanto para los contenidos de hierro como los de manganeso y tampoco entre los 20ddf, 30ddf y 45 ddf, sin embargo para ambos casos si existe entre los 45ddf y 75ddf (Figura 11). Estas diferencias pueden ser resultado de las condiciones de los sustratos empleados en la preparación.

Figura 10. Contenido de azufre en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.

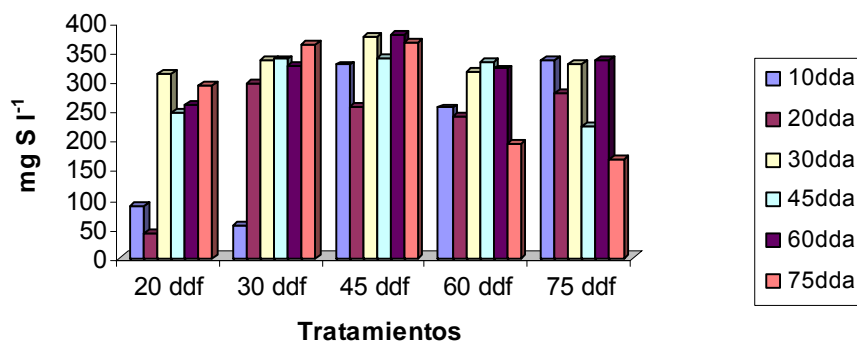
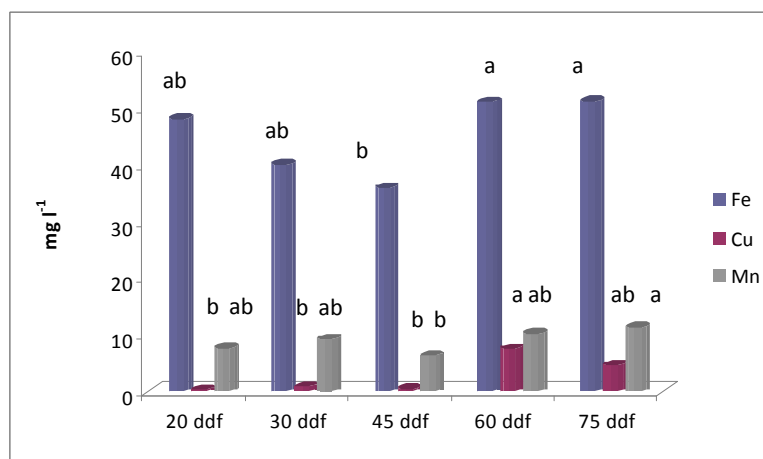


Figura 11. Contenido de hierro, cobre y manganeso en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.



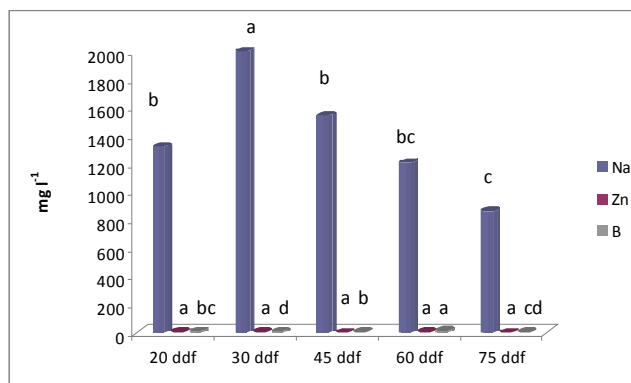
Para el caso de cobre, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los 20ddf, 30ddf, 45ddf con relación al biofermentado de 60 días, sin embargo no existen diferencias entre los 20ddf, 30ddf, 45ddf y 75ddf ddf y tampoco entre los 60 y 75ddf. La figura relacionada con estos parámetros, indica que para los tres micronutrientes, el mayor contenido estuvo a los 60 ddf, lo que indica que puede ser cosechado y almacenarlo a partir de este momento.

Estadísticamente, el anova reportó que existe una interacción altamente significativa entre el tiempo de fermentación y el almacenamiento, y el análisis de regresión mostró disminución en el contenido de hierro y manganeso después de los 85 días. Esto sugiere que, una vez ha sido cosechado a los 60 días, solo debe almacenarse 25 días más, ya que después el contenido nutricional decrece.

3.1.6 Sodio, zinc y boro. La figura 12, muestra la variación en el contenido de sodio en los diferentes tiempos de fermentación, donde a los 30 ddf, el contenido es el más alto en comparación con los demás tratamientos. El anova, arrojó diferencias estadísticas altamente significativas al 0,01 y la prueba de comparación múltiple visualizada en la misma gráfica confirma dicho comportamiento, apreciándose además como van disminuyendo en la medida en que transcurre el tiempo, hasta obtener contenidos de $864 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a los 75 días después de fermentación.

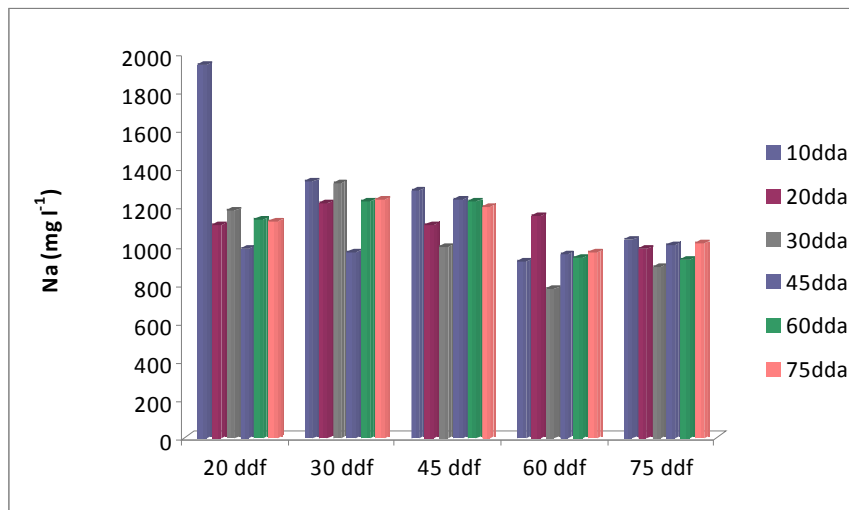
Los contenidos de zinc oscilaron entre $1,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y $3,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, sin diferencias estadísticas entre ellos, mientras que los de boro, estuvieron entre $5,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y $16,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, siendo que a los 60 ddf, se obtuvo el mayor contenido con diferencias altamente significativas con relación a los tratamientos restantes. Estas diferencias se explican en razón de las condiciones y propiedades de los sustratos utilizados, además los resultados indican que el compuesto orgánico evaluado, debe ser cosechado máximo a los 60 días.

Figura 12. Contenido de sodio, zinc y boro en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.



Una vez cosechados y almacenados bajo condiciones ambientales, presentaron variaciones diversas, apreciadas en la figura 13, en la que se muestra que entre los diferentes tratamientos de fermentación, existe tendencia a la disminución en el contenido de sodio, en la medida en que transcurre el tiempo, observando que el biol producido con 75 ddf, es el que mantiene los valores más bajos, aún en los diferentes tiempos de almacenamiento. Los sustratos utilizados en la preparación, tales como el estiércol y sobre todo el cloruro de sodio, son las fuentes que proveen este elemento y como consecuencia del metabolismo de los microorganismos, se presentan fluctuaciones en el contenido a través del tiempo de fermentación y almacenamiento, por lo tanto se sugiere eliminar el cloruro de sodio de la preparación.

Figura 13. Contenido de sodio en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



En la figura 14, se puede observar el patrón de comportamiento del contenido de zinc, tanto para los tiempos de fermentación como los de almacenamiento, con valores que oscilaron entre $0,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a los 75 días de almacenado el biol que se cosechó a los 75ddf, hasta $11,7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en el de 30ddf y almacenado hasta los 75 días, variaciones explicadas por los sustratos utilizados.

Con relación al boro, la figura 15 muestra las variaciones encontradas en los diferentes tratamientos, donde el valor más bajo se encontró a los 10 días después de almacenado el producto que se cosechó con 75 días de fermentación y el más alto igualmente a los 10 días de almacenado, pero cosechado con 60 días de fermentación, no obstante, los valores encontrados en el compuesto orgánico cosechado a los 75ddf, fueron los más bajos en relación con los demás

tratamientos. El anova demostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en la interacción tiempo de fermentación y de almacenamiento. En este orden de ideas, el anexo 13, ilustra los resultados obtenidos en la prueba de comparación múltiple de Duncan, en la que a partir de los 135 días los contenidos son inferiores en un 28%, con respecto al que se obtiene a los 20 días. Las variaciones obtenidas se explican en razón a que el boro está relacionado con un gran número de rutas metabólicas, mencionadas por Parr y Loughman (1963), que se producen en este tipo de compuestos debidos a los sustratos sometidos a anaerobiosis.

Figura 14. Contenido de zinc en el compuesto orgánico “biol” a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.

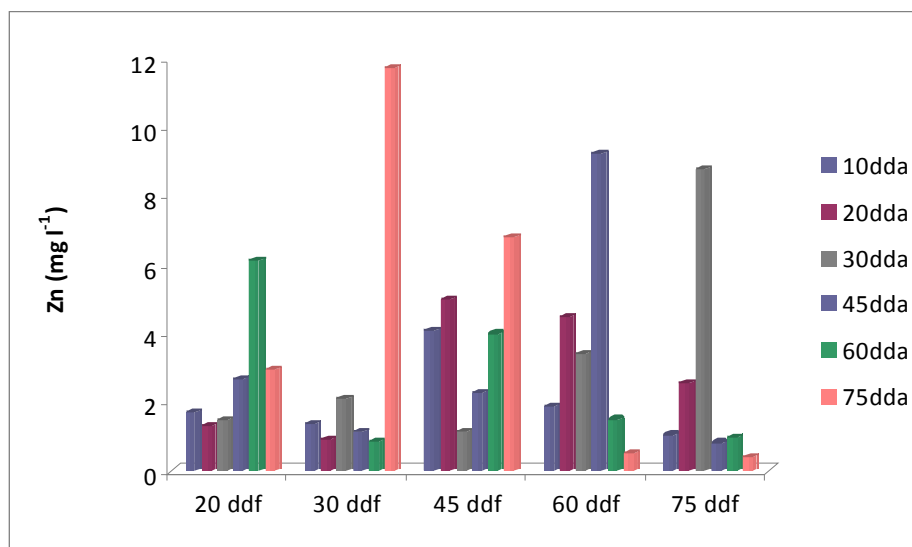
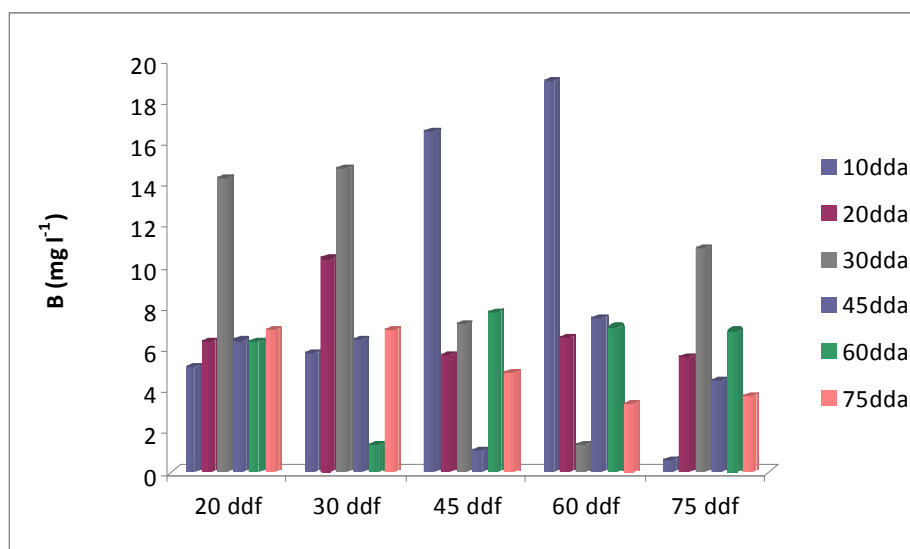


Figura 15. Contenido de boro en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.1.7 Relación carbono: nitrógeno. La figura 16, muestra la tendencia encontrada en la relación C:N, la cual a partir de los 20 ddf inicia con 3,4 y se incrementa hasta los 60 ddf, tiempo a partir del cual comienza a disminuir; hasta los 75 ddf. El análisis estadístico indicó diferencias significativas al 0,05 y la prueba de comparación múltiple de Duncan destaca lo descrito anteriormente, probablemente por las fuentes de materia orgánica (bovinaza y leucaena, principalmente), que se degradan en el proceso de fermentación anaeróbica.

Una vez cosechados y almacenados bajo condiciones ambientales, las variaciones reportadas e ilustradas en la figura 17, muestran el comportamiento desigual encontrado en cada uno de los tratamientos evaluados, destacando la similitud entre 20 ddf y los del tratamiento 75 ddf 75 dda. Así, Thibaudeau, (1997), afirma que la relación C:N influye en la disponibilidad del nitrógeno, de forma que cuando es elevada, los microorganismos del suelo precisan de nitrógeno adicional para descomponer el carbono y se producirá inmovilización del nitrógeno en forma orgánica. Por el contrario, un valor bajo de la relación C:N indica contenidos elevados de nitrógeno amoniacal.

Figura 16. Relación C:N en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.

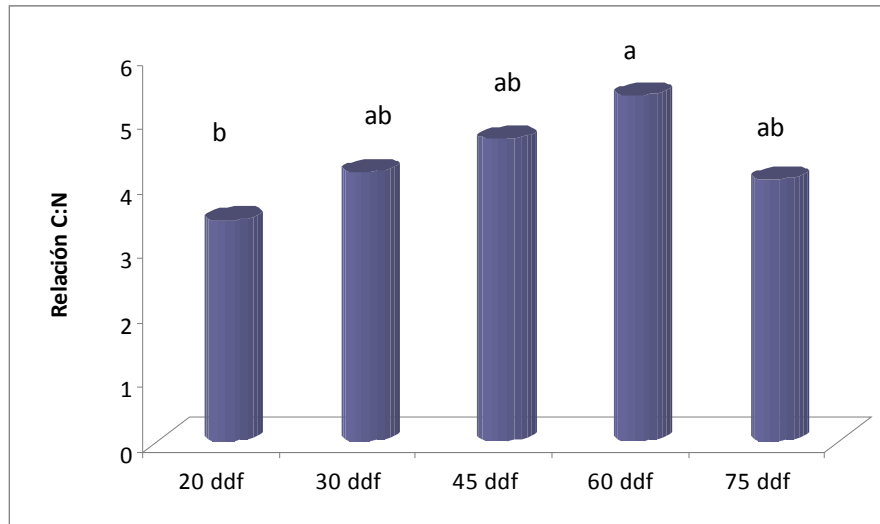
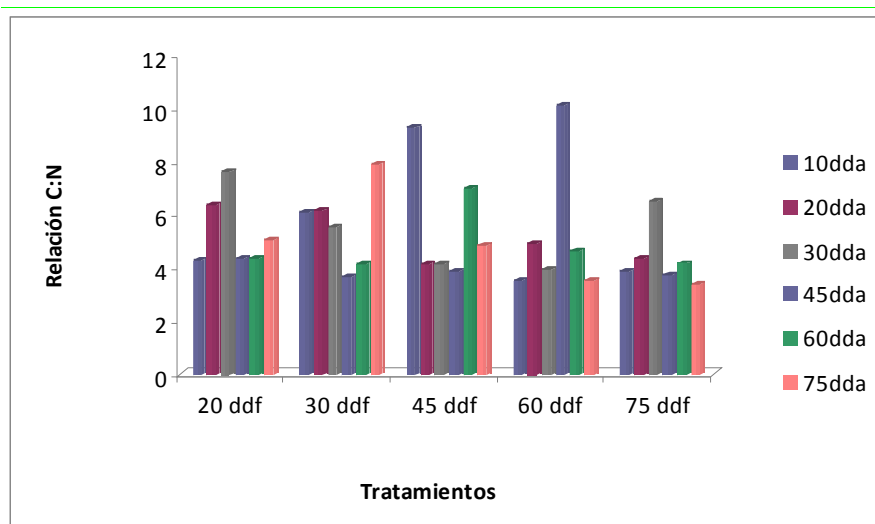
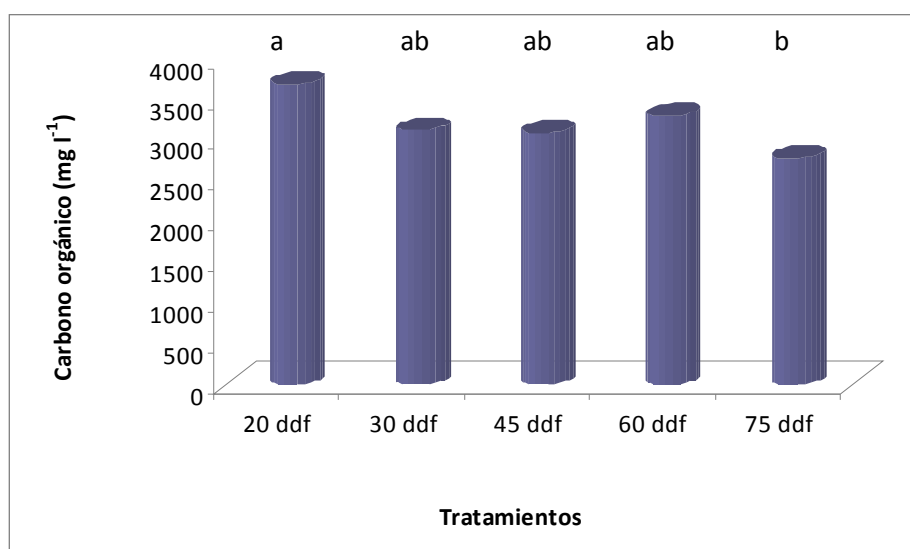


Figura 17. Relación C:N en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.1.8 Carbono orgánico. La figura 18, muestra los resultados en el contenido de carbono orgánico que se obtuvo en los cinco tratamientos de fermentación anaerobia; el análisis estadístico mostró diferencias significativas, donde la prueba de comparación múltiple de Duncan, agrupa los tratamientos 20ddf, 30 ddf, 45 ddf y 60 ddf, sin diferencias entre ellos; así mismo, entre los 30 ddf y los 75 días, tampoco existen diferencias significativas, sin embargo entre los 20 ddf y los 75 ddf, si las hay, y es precisamente donde se obtuvo los valores extremos (3.692,0 y 2.783,8 mg·l⁻¹).

Figura 18. Contenido de carbono orgánico en el compuesto producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.



Una vez cosechados y almacenados los compuestos orgánicos, el contenido de carbono orgánico fue variable, sin embargo al apreciar la figura 19 se resalta que aquellos que fueron cosechados a los 30 ddf y 45 ddf, presentaron los mayores contenidos en su posterior etapa de almacenamiento, en relación con los demás tratamientos. Así mismo, a los 30 días de almacenado se reporta un valor medio de 3.567,3 mg·l⁻¹. Al respecto se alcanzan contenidos altos, debido a las variaciones en la biodegradabilidad de la fracción orgánica de los sustratos empleados, lo que permite indicar que la fermentación anaerobia de este compuesto es una buena opción para obtener un acondicionador de suelos con buenas características nutricionales, que a su vez lleve a incrementos del carbono orgánico en el suelo.

3.1.9 pH. La figura 20, muestra los resultados en relación con el pH que se obtuvo en los cinco tratamientos de fermentación anaerobia, que estuvieron en un rango entre 5,1 y 5,2, no obstante, el análisis estadístico mostró diferencias significativas, y la prueba de comparación múltiple de Duncan, agrupa los

tratamientos 20ddf, 30 ddf, 45 ddf y 60 ddf, sin diferencias entre ellos; así mismo, entre los 20 ddf y los 75 días, tampoco existen diferencias significativas, sin embargo entre los 30 ddf, 45 ddf, 60 ddf y los 75 ddf, si existen. Este aumento de pH, pudo surgir por las condiciones anaeróbicas locales y temporales (disminución del potencial redox), que de acuerdo a lo anotado por Benjumea (1998), está relacionado con aumento de la actividad microbiológica.

Figura 19. Contenido de carbono orgánico en el compuesto orgánico “bio” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.

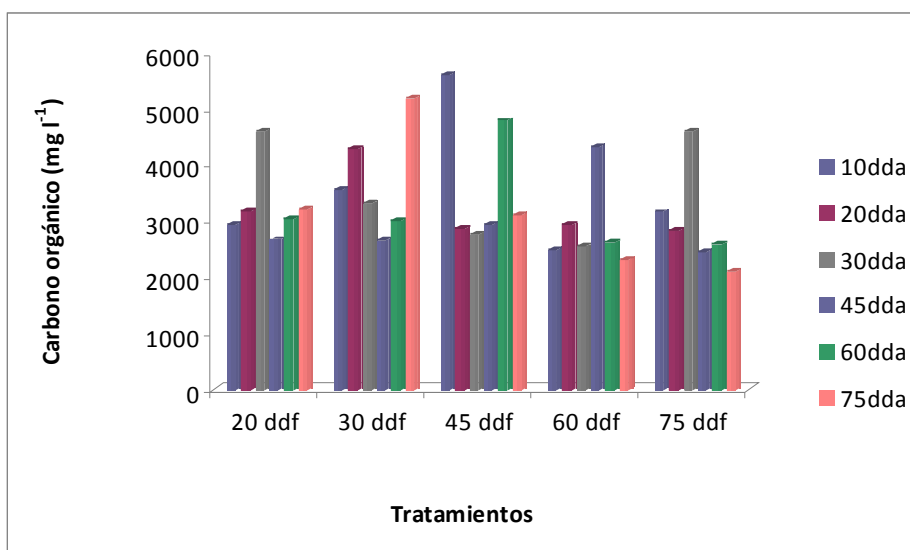
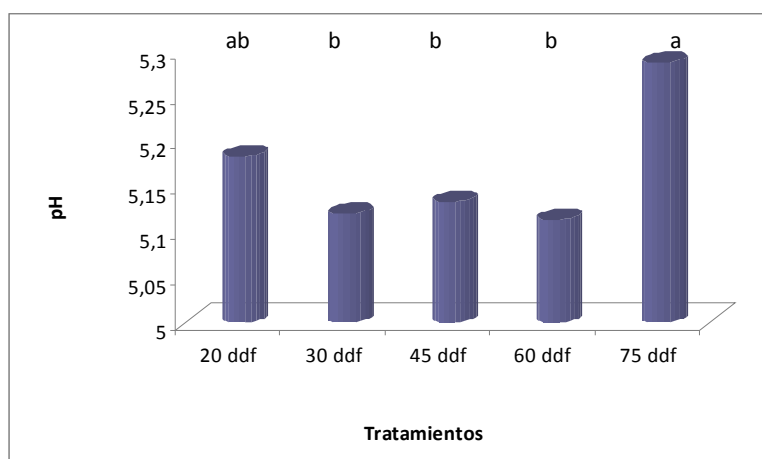


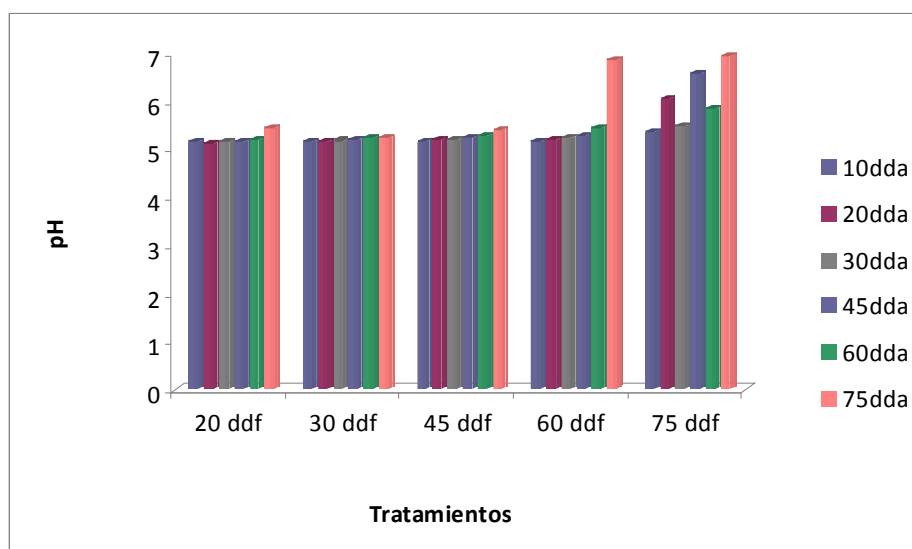
Figura 20. Contenido del pH en el compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.



En la etapa de almacenamiento, los valores de pH, se mantuvieron con pocas variaciones en aquellos productos producidos a los 20 ddf, 30 ddf y 45 ddf, solo en el de 60 ddf y 75 ddf, se encontraron fluctuaciones, en la medida en que transcurría el tiempo de almacén, específicamente a los 75 dda, donde se encontraron pH de 6,8 y 6,9, respectivamente. La figura 21, ilustra que el compuesto orgánico fermentado hasta 75 días, es el que durante el almacenamiento obtiene valores medios de pH 6. Las características halladas en este compuesto, indican según lo anotado por García (2005), que puede ser útil como enmienda para la rehabilitación de suelos sódicos, ya que presenta pH ácido y elevada concentración electrolítica.

3.1.10 Conductividad eléctrica. En la figura 22, se reportan los valores encontrados para la conductividad eléctrica del compuesto orgánico, en los diferentes tratamientos de fermentación, en la que se aprecia que inicia con valor de $10,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y va aumentando lentamente hasta los 45 ddf, posteriormente vuelve a descender. El análisis estadístico arroja diferencias estadísticas significativas con tres agrupamientos: 45 ddf, (30, 60, 75)ddf y 20 ddf, respectivamente. Estos niveles son considerados altos y se debe principalmente al uso de sal común y estiércol de bovino fresco, que posee alto contenido de ácido úrico.

Figura 21. Contenido de pH en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



A partir de la cosecha de los compuestos orgánicos, de cada uno de los tratamientos de fermentación, las variaciones de la conductividad eléctrica aparecen representados en la figura 23, en que 20 ddf, mantuvo niveles inferiores, respecto a los tratamientos restantes, excepto a los 45 dda, donde se resalta el incremento en este punto. De igual forma se muestra que en términos generales a los 45 dda, para todos los tratamientos, los valores fueron los más elevados. Si se tiene en cuenta los grados de salinidad en suelos del Laboratorio de Salinidad de Riverside (Menjivar, 2007), se tiene un compuesto entre fuertemente salino hasta extremadamente salino, compuesto que puede resultar peligroso, por lo que se propone eliminar totalmente el cloruro de sodio como parte de los componentes de la preparación.

Figura 22. Conductividad eléctrica del compuesto orgánico producido artesanalmente, en relación con el tiempo de fermentación anaerobia.

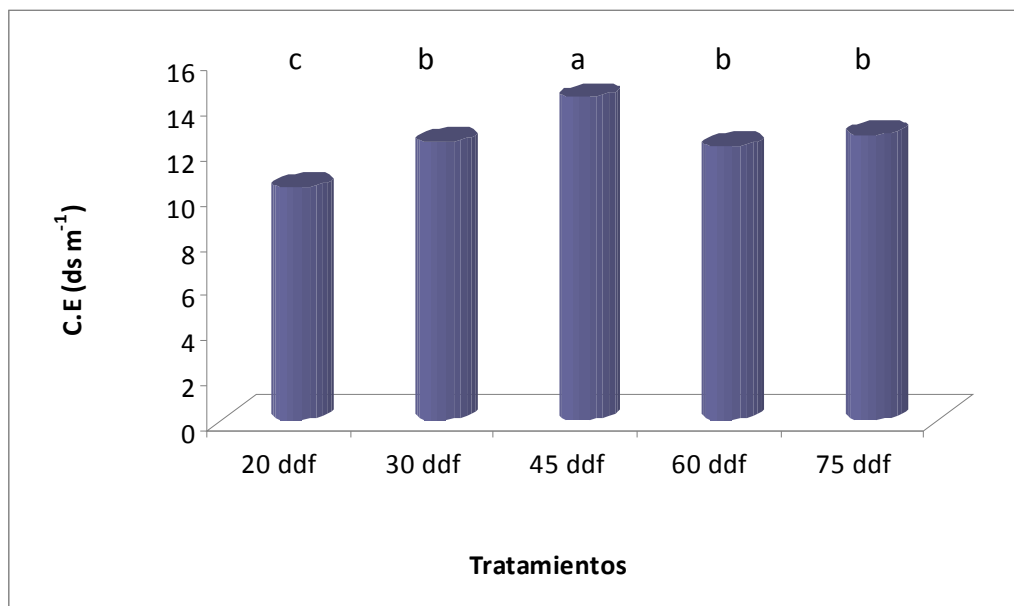
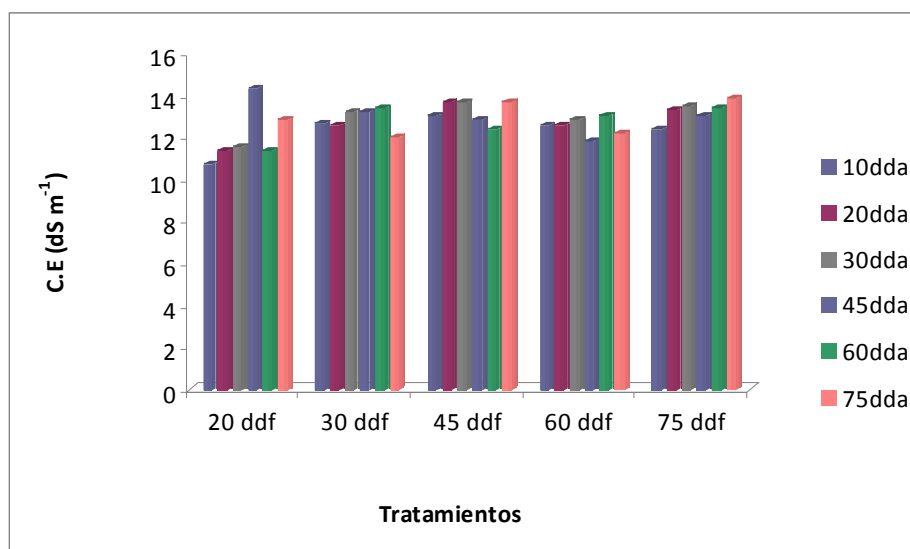


Figura 23. Conductividad eléctrica del compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.2 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL COMPUESTO ORGANICO A DIFERENTES TIEMPOS DE FERMENTACION

3.2.1 Bacterias. El análisis de la población bacteriana durante la fermentación, mostró niveles diferentes en el crecimiento, observando que la población microbiana a los 45 días fue superior en más del 90% por tener 20116 UFC*ml⁻¹, en comparación al resto de los tiempos de fermentación, que presentaron una masa microbiana por debajo del 10% con 1818, 1533, 880 y 456 UFC*ml⁻¹ respectivamente (Figura 24). Esto puede estar relacionado con el momento en que las bacterias se encuentran en la etapa de multiplicación, pudiendo estar asimilando los nutrientes para aumentar su población. Cuando esto ocurre, podría reducirse el contenido neto de ciertos nutrientes como el carbono y nitrógeno. Estudios nutricionales han demostrado que muchas bacterias pueden asimilar varios compuestos de carbono orgánico y utilizarlo para fabricar material celular. Un incontable numero de compuestos tales como aminoácidos, ácidos grasos y compuestos aromáticos pueden ser utilizados por una bacteria u otra. En peso seco, una célula típica consta de aproximadamente 50% de carbono y a su vez este es el elemento mayoritario de las macromoléculas (Madigan M.T. *et al.*, 2001).

En cuanto al almacenamiento, puede resultar igual almacenar el compuesto fermentado hasta los 20 días, a los 10 y 75 días (Figura 25), dado no exceden las 10.000 UFC*ml⁻¹. En el caso del biol cuya fermentación se realiza hasta los 75 días, la carga bacteriana inicia con 20.000 UFC*ml⁻¹, pero disminuye hasta los 75 días después de almacenado. Los compuestos de 45ddf y 60 ddf, presentaron la mayor cantidad de bacterias en promedio, en relación con los tratamientos restantes (10.500 y 16.400 UFC*ml⁻¹). Estos resultados sugieren que más del 90% de los microorganismos llegan al final de la curva de crecimiento (muerte, acompañada de lisis celular) en 15 días, mientras que los que se encuentran en la mitad de fermentación, no lo hacen, ya sea porque van realizando el proceso de forma más lenta o porque este tiempo de fermentación es favorable para la adaptación y la supervivencia.

Figura 24. Comportamiento de la población bacteriana durante cinco tiempos diferentes de fermentación del compuesto orgánico, producido artesanalmente.

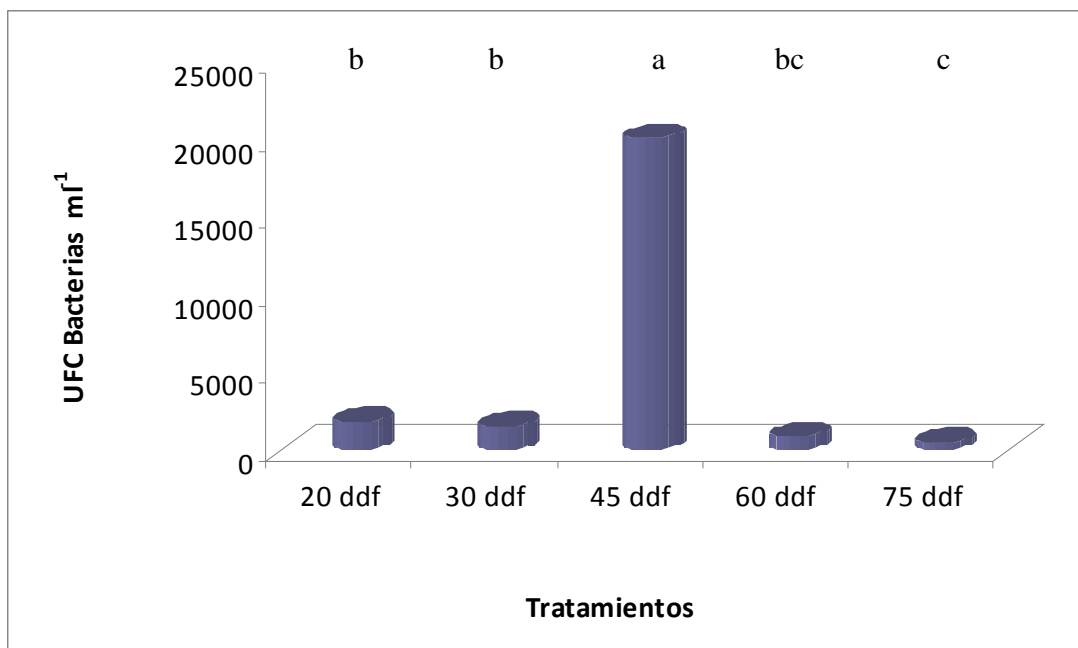
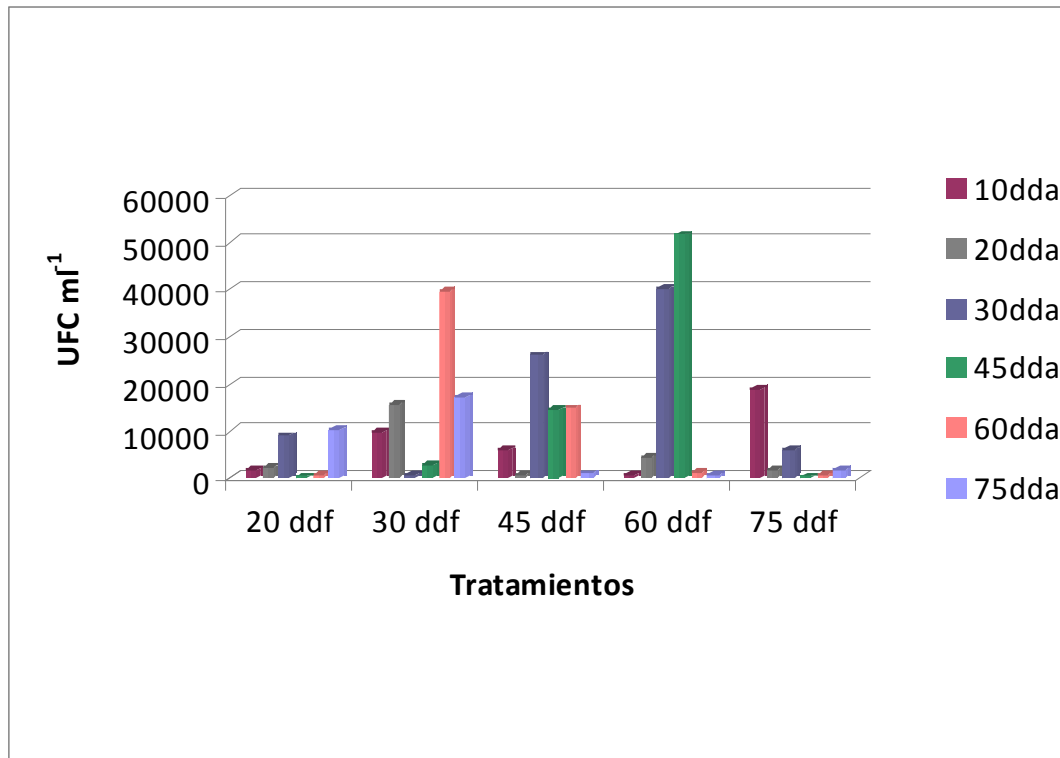


Figura 25. Variación de la Unidades Formadoras de colonia UFC*ml⁻¹ de Bacterias presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.2.2 Fijadores de nitrógeno. Los microorganismos fijadores de nitrógeno, presentaron un crecimiento descendente en la fermentación, donde a los 20 días se reportó 1636 UFC*ml⁻¹, siendo este el mayor número, seguida de 30 ddf con 1065, 956 para 45ddf, 521 en 60ddf y 426 UFC*ml⁻¹ para 75ddf (Figura 26). La tendencia del contenido, indica que el tiempo de fermentación es inversamente proporcional al número de unidades formadoras de colonias por mililitro del biopreparado. Se lograron aislar bacterias fijadoras de nitrógeno, las cuales presentaban distintas características macroscópicas, de color blanco, crema y rojo. (Figura 27).

La figura 28, muestra la variación encontrada en relación con los microorganismos fijadores de nitrógeno, dentro del cual se destaca la tendencia del crecimiento de los mismos en el tratamiento de 30 ddf, durante su almacenamiento, y el correspondiente a 60 ddf, en el cual asciende hasta los 30 dda y disminuye paulatinamente hasta los 75 dda. Los tratamientos restantes, no hubo un patrón definido, lo que indica que las tendencias de los microorganismos no siguen un patrón regular.

Figura 26. Unidades formadoras de colonias de bacterias fijadoras de nitrógeno, en diferentes tiempos de fermentación del compuesto orgánico.

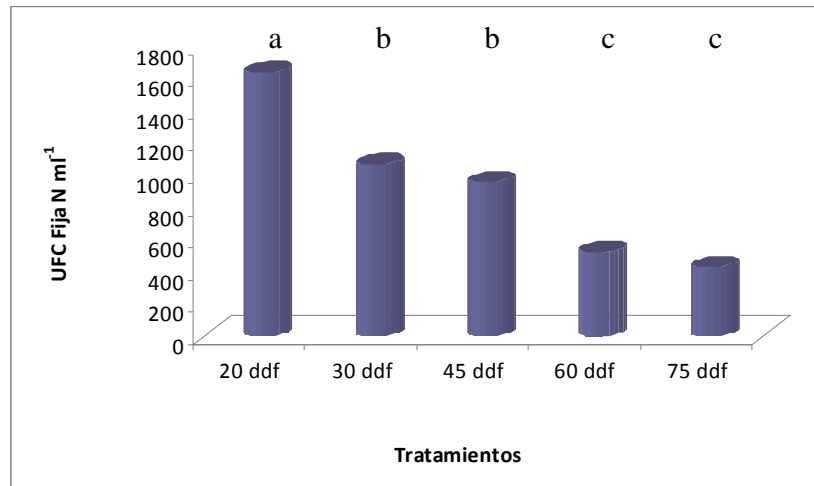


Figura 27. Características macroscópicas de colonias de fijadores de nitrógeno aislados en Agar Manitol del Biopreparado.

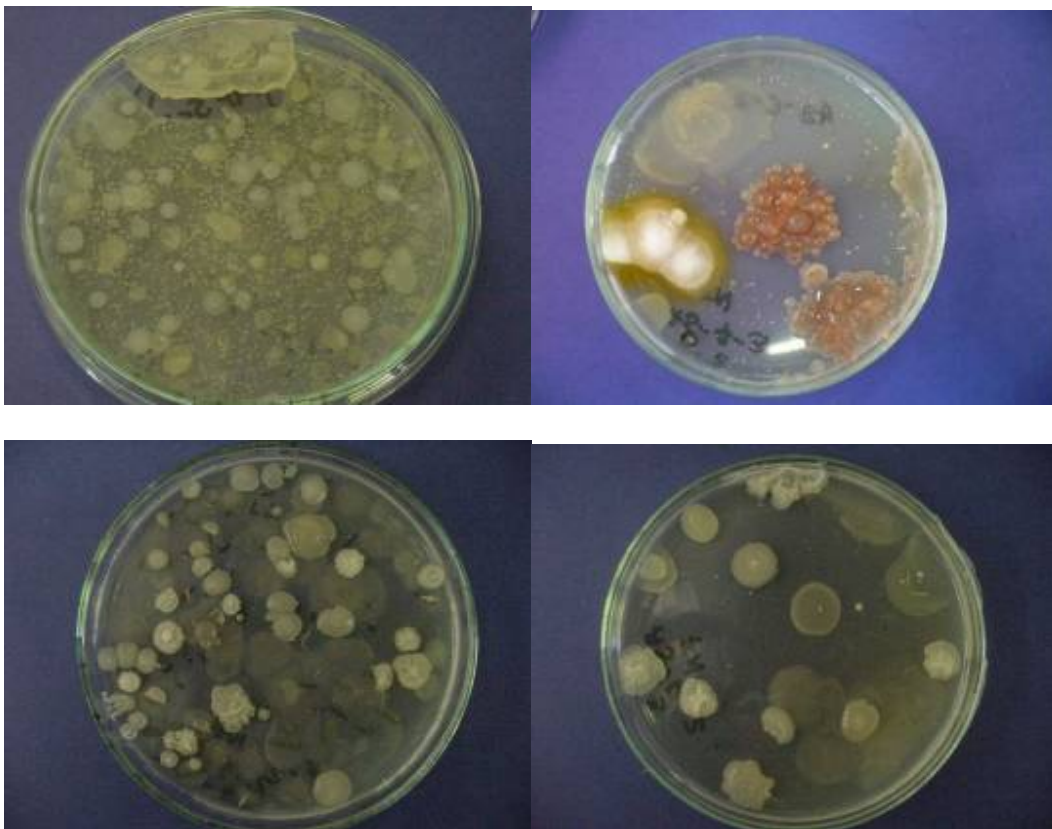
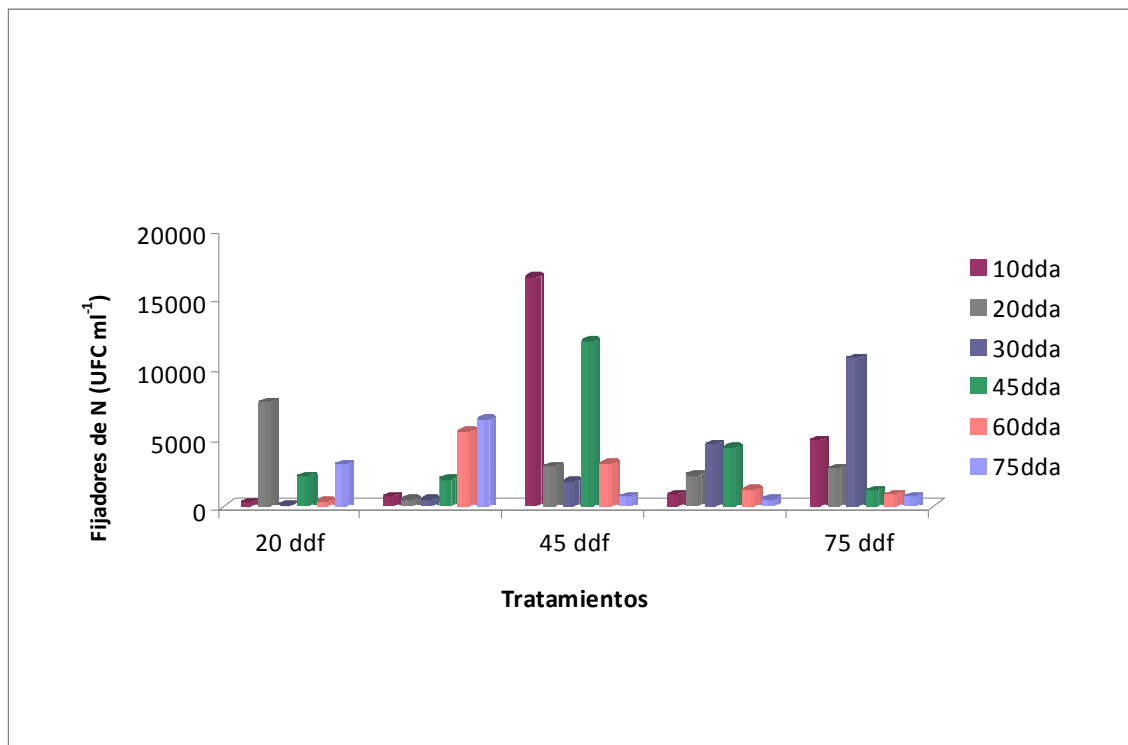
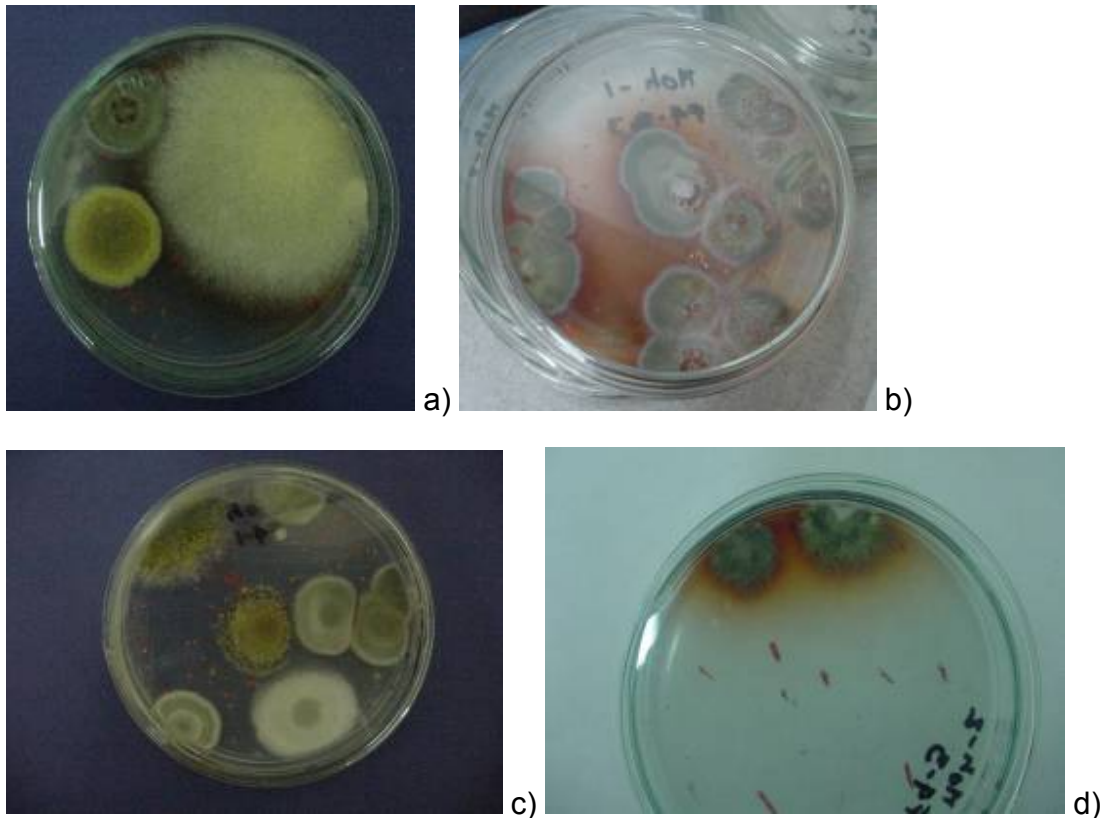


Figura 28. Unidades formadoras de colonia UFC*ml⁻¹ de fijadores de nitrógeno presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.2.3 Hongos. Los mohos presentes en muestras del biopreparado mostraron distintas características macroscópicas, pero se observaron similitudes a nivel microscópico. Hubo cepas que presentaban micelio aterciopelado, de color verde con amarillo, en su centro un color negro, con bordes blancos, éstas se apreciaron planas y medianas; otras fueron de color amarillo oscuro en el centro y este se torna claro en el borde, micelio polvoso y fueron medianas en tamaño. Las colonias más grandes, se observaron con micelio algodonoso, de color crema y un crecimiento montañoso (Figura 29), otras produjeron metabolitos los cuales se aprecian como una coloración fuerte en el medio o en forma de gotas sobre la colonia.

Figura 29. Características macroscópicas de colonias de mohos aislados en Agar C'Zapekc del Biopreparado.



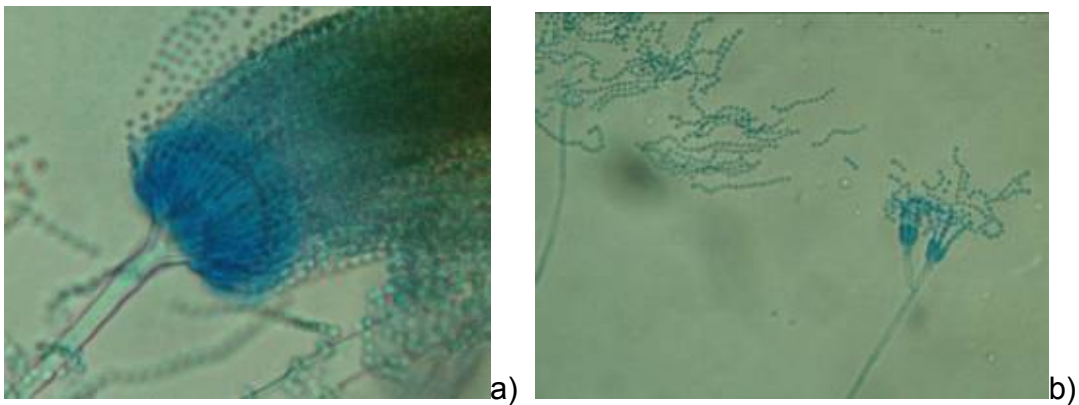
Estas tres colonias (Figura 29a), al hacerles identificación microscópica, correspondieron al género *Aspergillus sp.* (Figura 30 a), aunque no sean de la misma especie.

Otro género importante, que se aisló frecuentemente de las muestras del biopreparado fue *Penicillium sp.* (Figura 29b), el cual junto con *Aspergillus sp.* es capaz de movilizar el fósforo y el nitrógeno del suelo o degradar ácidos nucleicos y glicerofosfatos a fosfatos simples (Delgado M. 2008). Cuando se degrada la materia orgánica en condiciones aeróbicas, estos hongos liberan grandes cantidades de CO₂ como producto de la actividad respiratoria, que al reaccionar con el agua y los fosfatos insolubles los transforma en fosfatos solubles como: fosfato tricálcico y fosfato dicálcico.

En condiciones anaerobias en la degradación de la materia orgánica se liberan ácidos orgánicos como el ácido málico, ácido tartárico, ácido cítrico, ácido butírico, los cuales solubilizan los fosfatos de hierro y aluminio. Estos ácidos también solubilizan la roca fosfórica (Delgado M. 2008).

Además, hongos como *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.* y *Mucor sp.*, solubilizan el potasio mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen. Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicato y liberan parte del potasio contenido en ellos.

Figura 30. Características microscópicas de *Aspergillus sp.* (a), y *Penicillium sp.* (b), aislados en Agar C'Zapekc del Biopreparado.



Los mohos presentaron niveles bajos en las fermentaciones de 20, 30, 45 y 75 días. Es decir que las UFC*ml⁻¹ fueron muy bajas en relación a las contabilizadas a los 60 días con 4.550. El análisis estadístico (Anexo 2), confirma la diferencia altamente significativa entre los tratamientos evaluados (Figura 31). Esta respuesta puede estar explicada en razón a que este tipo de microorganismo tiene una velocidad de crecimiento lenta, con respecto a las bacterias, levaduras y otros, y tardan hasta 5 días para crecer en medios de cultivos donde tienen las condiciones favorables tales como fuentes de nutrientes en forma más asimilable, que favorezca su crecimiento; en el fermentador donde las condiciones se asemejan a las naturales o de campo, el microorganismo tiene que hacer un trabajo extra para asimilar sus nutrientes y al mismo tiempo competir con otros por ellos.

El contenido de UFC*ml⁻¹ de hongos en los compuestos orgánicos almacenados bajo condiciones ambientales, fueron bajos (Figura 32), en la cual solo el tratamiento 30ddf, sobrepasó en población al resto de las fermentaciones con 19.150 UFC*ml⁻¹ seguida de 45ddf, quien lo hizo con 7550 UFC*ml⁻¹. Cabe destacar, que 30ddf mantiene más estable su población en el tiempo, como se aprecia en 20dda y 30dda y que en los días 60dda y 75dda, las poblaciones de mohos están bastante bajas. El biopreparado analizado, se encuentra exento de fitopatógenos de los géneros (*Fusarium* spp., *Botrytis* sp., *Rhizoctonia* sp., *Phytophthora* sp.) como lo estipula la NTC-5167 (Norma Técnica Colombiana) para materiales orgánicos utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelos.

Figura 31. Unidades formadoras de colonias de mohos, en cinco tiempos de fermentación del biopreparado.

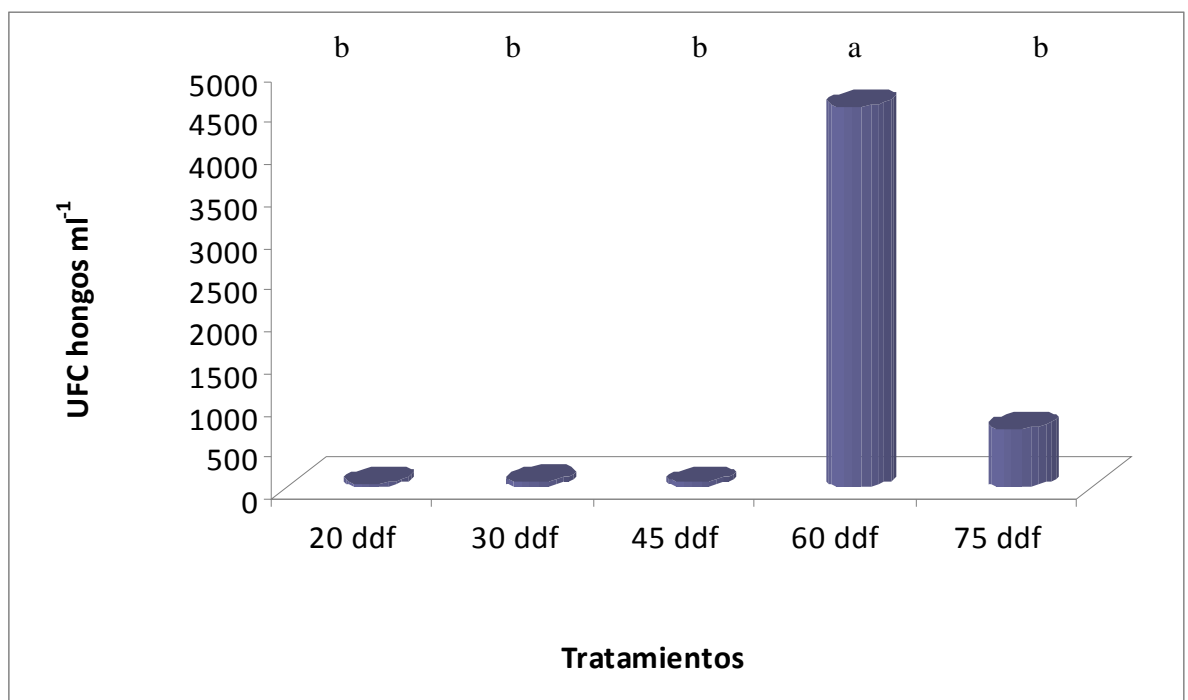
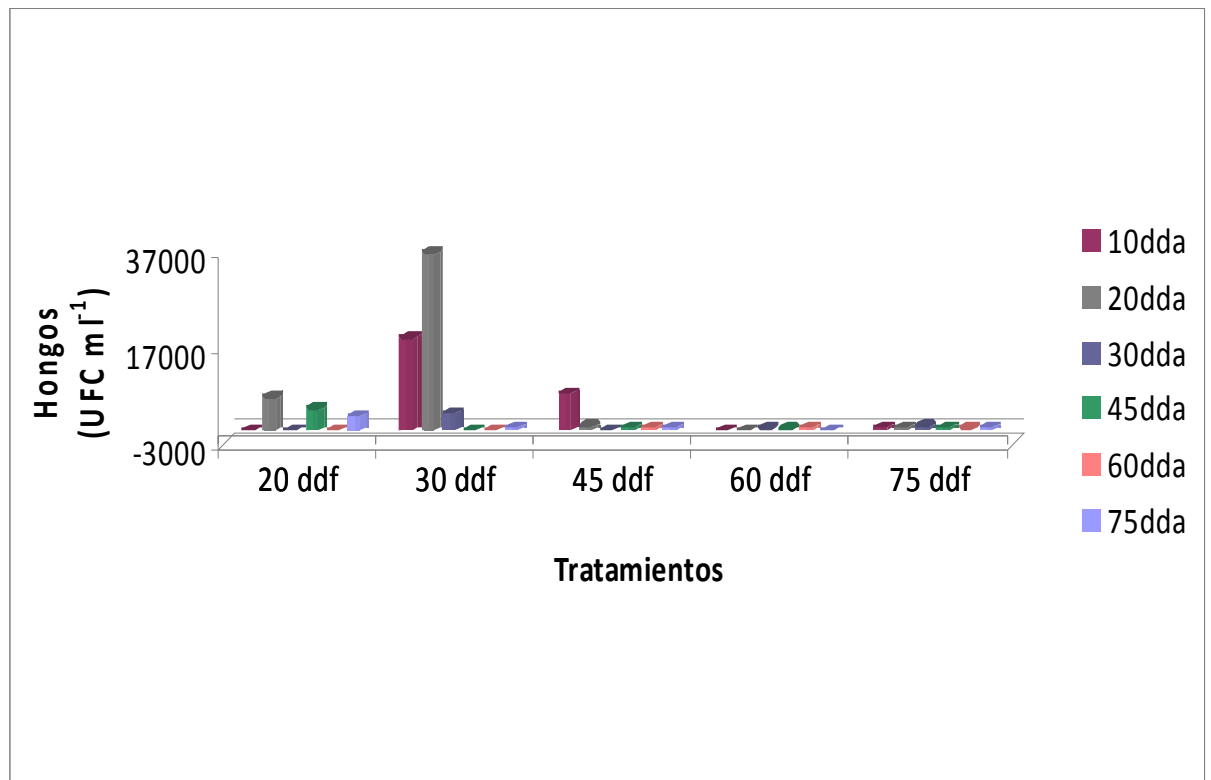


Figura 32. Unidades formadoras de colonia UFC*ml⁻¹ de hongos presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.



3.2.4 Levaduras. Las colonias de levaduras aisladas, presentaban una consistencia mucosa, de color blanco o crema. Estos por lo regular fueron los microorganismos más abundantes. Se observaron colonias grandes y pequeñas, como se muestra en la figura 33.

Los hongos mesófilos, aparecen después que las bacterias, ayudando en la descomposición del material o de los sustratos (Sepulveda G.L 2007). Las células de levaduras son mucho más grandes que las bacterianas y pueden distinguirse no solo por su tamaño sino por la presencia de su núcleo. Normalmente prosperan en habitats con abundante azúcar, tales como frutas, flores, corteza de arboles y con mayor razón en un caldo nutritivo como es este biopreparado (Madigan M.T. *et al.*, 2001).

Figura 33. Características macroscópicas de colonias de levaduras aisladas en Agar OGY de Biopreparado.



La inhibición de las levaduras puede darse probablemente por que en el momento en que alcanzan la fase estacionaria, otros microorganismos pueden estar creciendo y haciendo biotransformación de otros nutrientes que ellas no pueden desdoblar, por no tener la maquinaria necesaria, como es el caso de enzimas y metabolitos que sí poseen algunos hongos filamentosos o mohos, que contribuyen al ablandamiento y a la transformación de sustancias orgánicas (Delgado M. 2008).

La figura 34, muestra que los contenidos de levaduras presentaron diferencias altamente significativas entre los diferentes tiempos de fermentación, siendo que a los 45 días, se cuantificaron $14.443 \text{ UFC} \cdot \text{ml}^{-1}$, es decir mayor cantidad en relación con los demás tratamientos.

Entre tanto, en la figura 35, se aprecia que no hubo una tendencia homogénea en los tratamientos, durante su etapa de almacenamiento con rangos entre $40 \text{ UFC} \cdot \text{ml}^{-1}$ hasta $22.600 \text{ UFC} \cdot \text{ml}^{-1}$, contabilizadas en el biol fermentado a los 20 días y almacenado durante ese mismo tiempo.

Figura 34. Unidades formadoras de colonias de levaduras, en cinco tiempos de fermentación del biopreparado.

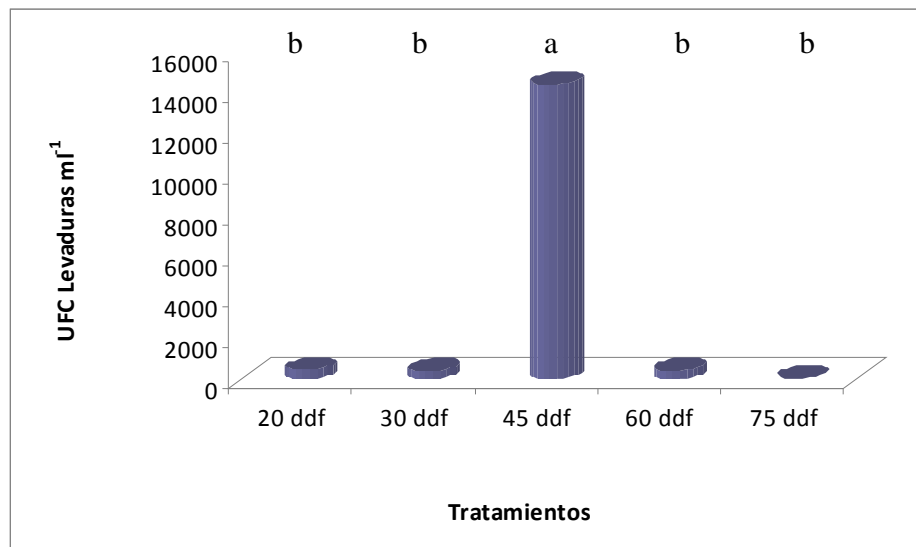
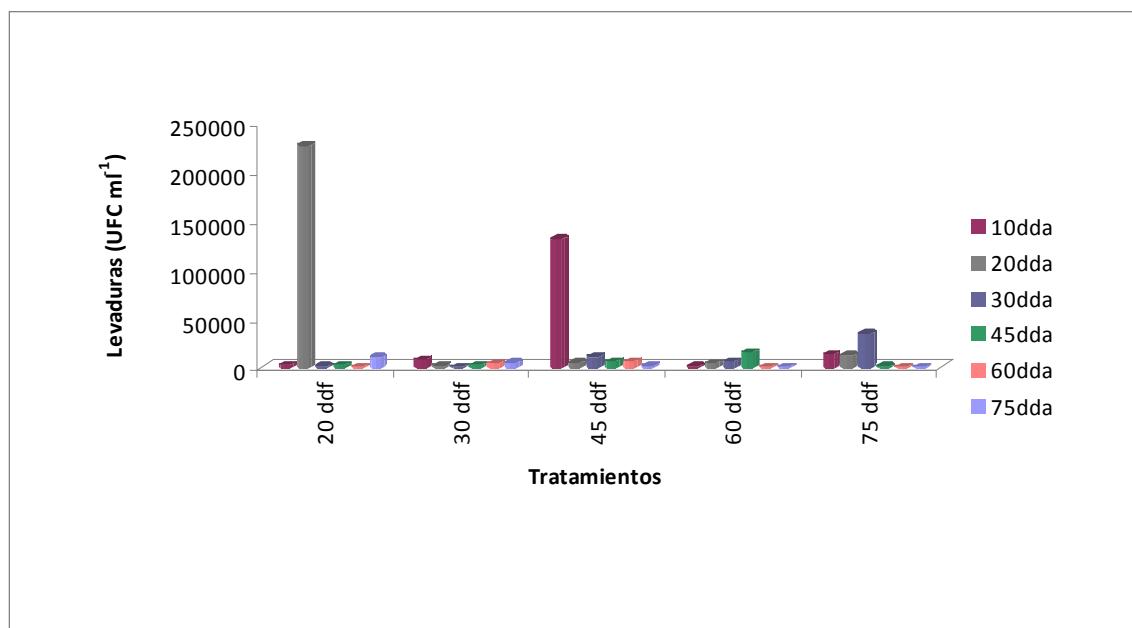


Figura 35. Unidades formadoras de colonia $\text{UFC} \cdot \text{ml}^{-1}$ de levaduras presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.

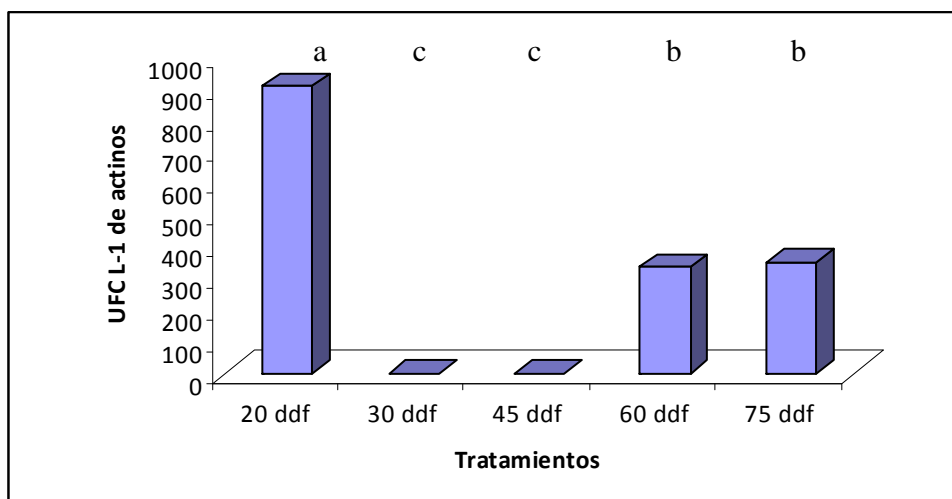


3.2.5 Actinomicetos. Los actinomicetos aislados, en su mayoría presentaban micelio aéreo que cambia con el paso del tiempo, colonias pequeñas, definidas irregulares, algunas de color blanco, otras de color crema. Microscópicamente, mostraron peptidoglicano en sus paredes, razón por la cual pudieron teñirse con Gram, además de las características filamentosas o hifas. Son microorganismos que se parecen a los hongos y a las bacterias. Crecen a manera de micelio radial, forman conidias como los hongos pero las características morfológicas de sus células son similares a las de las bacterias (Delgado M. 2008). La mayoría de los actinomicetales son aerobios (actinomicetos oxidativos), aunque algunos de ellos son anaerobios facultativos u obligados (actinomicetos fermentativos) (Bergey's Manual of determinative bacteriology. 1994), son quimioorganótrofos y procariotas (Sepulveda G.L 2007).

Los actinomicetales se encuentran distribuidos en diferentes hábitats, como suelo, plantas en descomposición, raíces, estiércol, polvo entre otros (Sepulveda G.L 2007), sin embargo su reservorio natural es el suelo en donde su función ecológica principal es la descomposición de la materia orgánica. Los actinomicetales comprenden aproximadamente el 20-60 % de la población microbiana del suelo. El olor característico a tierra húmeda se debe a su actividad metabólica y a la producción de pigmentos, terpenoides (geosminas) y enzimas extracelulares que son capaces de degradar materia orgánica de origen vegetal y animal. Algunas otras especies son patógenos de humanos, animales o plantas o son fijadores de nitrógeno (Bergey's Manual of determinative bacteriology. 1994).

La fermentación de los actinomicetos arrojó resultados bastante pobres en $\text{UFC} \cdot \text{ml}^{-1}$ con relación a otros microorganismos evaluados, esto podría ser porque el contenido neto inicial que presentaba el biopreparado era muy bajo en actinomicetos y por tener estos, una velocidad de crecimiento muy lenta, mucho más lenta que la de los hongos, pudiendo dar lugar al aprovechamiento de sustratos a otros microorganismos que tardan menos en crecer y que por ende presentan mayor población como es el caso de las levaduras y bacterias. La figura 36, esquematiza la variación poblacional encontrada, reflejada en las diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Figura 36. Unidades formadoras de actinomicetos, en cinco tiempos de fermentación del compuesto orgánico.



3.2.6 Coliformes totales y fecales. El indicador más ampliamente utilizado es el grupo de organismos coliformes. Son adecuados como indicadores porque son habitantes comunes del tracto intestinal, tanto de las personas como de los animales de sangre caliente, y están presentes en grandes cantidades (Madigan M.T. *et al.*, 2001).

Es por esta razón que las heces utilizadas para la preparación de este acondicionador de suelos, poseían un inóculo grande de coliformes, los cuales se redujeron al transcurrir el tiempo de fermentación, como se muestra en la tabla 2. En la fermentación de 30 días, los coliformes totales sobrepasaron los 1000 NMP*ml⁻¹, mientras que en a los 20 ddf solo crecieron 228 NMP*ml⁻¹. Esto quiere decir que el inóculo inicial de coliformes totales era bajo, y que a medida que transcurrió el tiempo de fermentación, estos aumentaron su población. Esto pudo ocurrir posiblemente, por que se encontraban las condiciones tanto químicas como físicas que estos requieren, como lo es un rango de temperatura de 35-37°C, un pH cercano al neutro y el nutriente esencial como lo es la lactosa, para fermentar. Este grupo de microorganismos se caracteriza por ser bacilos aeróbicos y facultativos, Gram negativos, que no forman esporas y que fermentan la lactosa con formación de gas en el plazo de 48 horas a 35°C. Necesitan de un pH entre 6,0-7,50 (Madigan M.T. *et al.*, 2001).

Tabla 2. Número más probable NMP ml⁻¹ de coliformes totales y fecales del compuesto orgánico presentes en la etapa de fermentación.

Tratamiento	Coliformes Totales (NMP ml⁻¹)	Coliformes Fecales (NMP ml⁻¹)
20 ddf	228 b	101 a
30 ddf	1100a	0 b
45 ddf	7,6 c	7,6 ab
60 ddf	18,3 c	0 b
75 ddf	196,7 b	0 b

Las coliformes fecales en etapa de almacenamiento, correspondiente al tratamiento 20ddf almacenado a los 10 y 60 días, se contabilizaron más de 1000 NMP*ml⁻¹ (Tabla 3), y al final de los 75 días después de almacenamiento, con más de 1000 NMP*ml⁻¹. Esto indica que estos tiempo no son adecuados, ya que son superiores a lo estipulado por la NTC-5167 (Norma Técnica Colombiana), la cual declara como limite 1000 UFC*g⁻¹, que en este caso aplicaría como 1000 NMP*ml⁻¹.

No se observa crecimiento de parte de estos microorganismos a los 10 y 45 dda. El tratamiento 20ddf mostró crecimiento de coliformes fecales en los días 20 y 30 de almacenamiento con 9 y 23 NMP*ml⁻¹. Para 30ddf se contabilizaron 15 NMP*ml⁻¹ en 20dda y finalmente 3 NMP*ml⁻¹ de 45ddf tanto en 60dda como en 75dda (Tabla 4).

Tabla 3. Variación del número más probable NMP*ml⁻¹ de coliformes totales presentes en el compuesto orgánico “biol” sometido a diferentes días de fermentación y posterior almacenamiento bajo condiciones ambientales.

TRATAMIENTOS						
	10dda	20dda	30dda	45dda	60dda	75dda
20ddf	1.200	23	93	33	1200	200
30ddf	6	57	43	0	23	2,33
45ddf	9	93	0	23	6	21,5
60ddf	150	0	23	3	23	0
75ddf	23	8	46,5	397,66	93	1.200

Es importante resaltar que no se evidenció la presencia de *Escherichia coli* en ninguna de las etapas de fermentación, como tampoco en las de almacenamiento. Esto es consecuente con respecto a lo estipulado por la NTC-5167 (Norma Técnica Colombiana), la cual establece que no debe existir este patógeno en este tipo de biofertilizantes.

Tabla 4. Número Más Probable NMP ml⁻¹ de coliformes fecales del biopreparado presentes en distintas días de fermentación y distintos días de almacenamiento.

TRATAMIENTOS						
	10dda	20dda	30dda	45dda	60dda	75dda
20ddf	0	9	23	0	0	0
30ddf	0	15	0	0	0	0
45ddf	0	0	0	0	3	3
60ddf	0	0	0	0	0	0
75ddf	0	0	4	0	0	0

3.2.7 Salmonella. No se aisló *Salmonella sp*, en ninguna de la etapas de fermentación y de almacenamiento la NTC-5167 (Norma Técnica Colombiana) donde se reglamenta que esta bacteria debe estar ausente de cualquier tipo de acondicionador de suelos.

3.3 RELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

Al correlacionar las 23 variables evaluadas (Anexo 3), se encontró que existe una relación directa entre el contenido de nitrógeno y el boro, similar que con las levaduras y las bacterias, explicadas en 89%, 78% y 66%, respectivamente, e inversa del 87% con relación al potasio. Así mismo, se encontró que existe relación directa entre el contenido de nitrógeno y la presencia de microorganismos fijadores de nitrógeno, con $r = 0,79$ e inversa con el contenido de carbono orgánico y las bacterias, con $r = 0,98$ y $0,73$, respectivamente.

El análisis de correlación mostró relaciones directas del contenido de fósforo con calcio y microorganismos fijadores de nitrógeno, explicadas en 86% y 91%, respectivamente, mientras es inversa con azufre, la conductividad eléctrica, los actinomicetos y las coliformes fecales en 91%, 93%, 70% y 83%, en su orden. Las variables que se encontraron correlacionadas con el fósforo fueron nitrógeno y población de hongos, la primera relacionada inversamente y la segunda directamente.

Los resultados también destacan al potasio en relación directa con el magnesio, boro y carbono orgánico, explicada en 64%, 68% y 69%, respectivamente, mientras es inversa con respecto al contenido de zinc y la conductividad eléctrica, del 66% y 60%. Adicionalmente, se encontró que existe una relación inversa entre el contenido de potasio y la población fungosa, explicada en 94%, mientras es directa con respecto a los microorganismos fijadores de nitrógeno con $r = 0,90$.

La correlación entre el calcio y magnesio, mostró que existe una relación directa entre estos nutrientes, explicada en un 77%. El mismo análisis mostró la relación directa del azufre y pH, explicada en 67%.

Al correlacionar las 23 variables, se encontró que existe una relación directa entre el hierro y el potasio, explicada en 73%, inversa entre el hierro y el boro, con r^2 del 87%. Así mismo, entre el cobre - potasio y cobre - boro es directa, equivalente al 80% y 89%, respectivamente; es inversa con relación a la conductividad eléctrica en 72%. En cuanto al manganeso, existe una relación directa con: potasio, azufre, carbono orgánico y boro, con coeficientes de 85%, 78%, 85%, 94%, respectivamente. Existe una relación directa entre las poblaciones de coliformes

totales y las fecales, explicada en 73%. Además se encontró una relación inversa entre el contenido de coliformes y el azufre y boro del 71% y 58%, en su orden.

Complementario a la correlación, se hizo un análisis de componentes principales para reducir la dimensionalidad de las 23 variables evaluadas, conformando 8 variables con valores propios mayores de 1, que explican el 74,11 % de la variabilidad, denominadas variables sintéticas (Tabla 5).

Tabla 5. Componentes principales de la caracterización química y biológica del biol producido artesanalmente por productores del departamento del Magdalena.

Componente	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	4,8535	2,2364	0,2110	0,2110
2	2,6170	0,2833	0,1138	0,3248
3	2,3336	0,3392	0,1015	0,4263
4	1,9943	0,3414	0,0867	0,5130
5	1,6529	0,3551	0,0719	0,5849
6	1,3277	0,0908	0,0577	0,6426
7	1,2373	0,2096	0,0538	0,6964
8	1,0277	0,0381	0,0447	0,7411

En la tabla 6, se puede apreciar que las variables que más contribuyen están explicadas en orden secuencial por el carbono, las bases, la reacción, presencia de sales, nutrientes asociados a la materia orgánica, oligoelementos, microorganismos de descomposición y asociados a la materia orgánica. En este orden de ideas, a nivel químico los componentes dependen de los oligoelementos (sodio y boro), desde el punto de vista físico relacionado con la materia orgánica y a nivel biológico a las coliformes y presencia de nitrógeno en el medio.

Tabla 6. Aporte de las variables de los componentes principales de la caracterización química y biológica del biol producido artesanalmente por productores del departamento del Magdalena.

Componente Principal	Variable	Aporte de la variable
CP1	Carbono Orgánico	0,34
	Carbono:Nitrógeno	0,32
CP 2	Potasio	0,47
	Calcio	0,50
CP 3	pH	0,41
	Conductividad Eléctrica	0,25
CP 4	Azúfre	0,33
	Magnesio	0,27
CP 5	Nitrógeno	0,51
	Coliformes Fecales	0,38
CP 6	Sodio	0,48
	Boro	-0,44
CP 7	Hongos	-0,36
	Levaduras	0,27
CP 8	Fijadores de Nitrógeno	0,33
	Coliformes Totales	0,26

4. CONCLUSIONES

- El biol, debido a su condición física de líquido soluble en agua y su baja concentración de nutrientes no es un producto que proporcione las cantidades suficientes para suplir deficiencias nutricionales altas en los cultivos.
- En términos generales, la concentración más alta de nutrientes del compuesto orgánico durante el proceso de fermentación, está a los 60 días, momento en el cual hay ausencia de coliformes fecales.
- El compuesto orgánico “biol” producido artesanalmente por pequeños productores del departamento del Magdalena, puede fermentarse entre los 30 hasta los 60 días.
- El procedimiento de producción del compuesto orgánico biol producido artesanalmente por pequeños productores del departamento del Magdalena, se ajusta a los parámetros establecidos por la NTC 5167, dado que en todas las lecturas se encontró ausencia de Salmonellas.
- Desde el punto de vista biológico, a los 45 días de fermentado el compuesto orgánico se presenta la mayor población de microorganismos, principalmente a nivel de bacterias y levaduras.
- A partir de los 85 días, la estabilidad del producto disminuye, lo que indica que no debe almacenarse por más tiempo.
- Desde el punto de vista biológico, a los 20 días de almacenado el compuesto orgánico, cosechado a diferentes tiempos de fermentación, se presenta la mayor población de microorganismos, principalmente a nivel de bacterias y levaduras.

5. RECOMENDACIONES

El compuesto evaluado es preparado por pequeños productores y en este sentido, no es viable estandarizar el producto, principalmente por el uso de materias primas diferentes. Es importante resaltar, que los resultados obtenidos han permitido el inicio de investigaciones por parte de Corpoica, la Corporación PBA y las organizaciones de pequeños productores, tendientes a caracterizar e identificar los microorganismos con potencial biofertilizante en estos compuestos preparados artesanalmente, con el objeto fundamental de elaborar una formulación más homogénea y estable, a partir de la cual se potencie y mejore la eficiencia en la producción y por ende en el uso de los mismos, para fines agrícolas. Los resultados de este estudio, permiten sugerir algunos rangos mínimos nutricionales para este tipo de compuestos:

- Nitrógeno: $>700 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- Fósforo: $>170 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- Potasio: $>1.300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- Calcio: $>1.800 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- Azufre: $>270 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- Boro: $> 7,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
- pH: 5,4 – 7,0

Adicionalmente, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Eliminar totalmente el uso de la sal común, de los ingredientes del compuesto.
- Incrementar la cantidad de material vegetal, o usar fuentes con alto contenido de potasio, por ejemplo, raquis de musáceas.
- Reducir el tiempo de fermentación a partir del incremento en la cantidad de melaza.
- Implementar procesos de gestión de calidad, documentando y haciendo seguimiento a los mismos, en procura de seguir y cumplir la norma establecida.

- Investigar los cambios en los contenidos de la materia orgánica nativa, los cambios enzimáticos ocasionados en el suelo y fisiológico en los cultivos, como efecto del uso de estos compuestos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUADO, G., DANIEL. Aplicación de métodos estadísticos multivariantes para la modelación y la monitorización de un reactor discontinuo secuencial para el tratamiento de aguas residuales. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 2005. 295p. En: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/extaut?codigo=235925>, consultado: 23 marzo 2009.

ALBUZIO, A., CONCHERI, G., NARDI, S., DELL'AGNOLA, G. Effect of humic fractions of different molecular size on the development of oat seedlings grown in varied nutritional conditions. 1994. In N. Senesi, T.M. Miano (Eds.) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science B.V. Amsterdam.

ANDREW, K. Evaluación de abonos orgánicos y biofertilizantes líquidos para el desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo el sistema de cultivo protegido en Panamá. Tesis Magíster, CATIE 2002.

AZUZARENA, N, GONZALEZ, R; GONZALEZ M, AC. Agricultura sostenible: empleo de residuos sólidos urbanos en la obtención de sustratos de uso agrícola. La Habana, CU. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt". 2002. 9p.

BARÓN, R. BENÍTEZ, I.C. y GONZÁLEZ, J.L. Influencia de la dosis creciente de un abono orgánico en un cultivo de trigo. Agrochimica XXXIX, 1995.5-6; 280-289.

BENJUMEA, C.P Evaluación de la actividad microbiana en cultivos de plátano musa AAB en Rozo, Valle del Cauca. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, 1998. 63p.

BERGEY, D; Holt, Jhon; Krieg, Noel; Sneath, Peter. Berge y's Manual of determinative bacteriology. J. T. Stanley (editores). Zippincott Williams & Wilkings, USA. 1994.

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

CARLSEN, L., LASSEN, P., WARWICK, P. y RANDALL, A. Radiolabelled humic and fulvic acids: a new approach to studies on environmental fate of pollutants. 1994. In N. Senesi, T.M. Miano (Eds.) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science B.V. Amsterdam.

CHAVARRÍA, M; Uribe, L. Uso de biofertilizantes y biocontroladores en la agricultura. *In: Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. San José, CR. Memoria. 2003. p.95–121.

CIAT. La comunidad se organiza para hacer investigación, experiencias de los Comités de Investigación Agrícola Local, CIAL, en América Latina, Cali, Colombia. 2001.

CHO, H. Utilización de microorganismos autóctonos: pensamientos y prácticas de agricultura natural coreana. 9 ed. Nobunkyo. Tokio, JP. 1999. 151 p.

DECRETO 475 DE 1998 (marzo 10). Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.

DELGADO M. Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. *Orius Microbiología*. 2008. En: [http://www.oriusbiotecnologia.com/site/index.php?id= 20, 63,0,0,1,0](http://www.oriusbiotecnologia.com/site/index.php?id=20_63,0,0,1,0)

DESCHAUER, H., HARTMANN, R., KÖGEL-KNABER, I. y ZECH, W. The influence of dissolved organic matter on the transport of polycyclic aromatic hydrocarbons in a forest soil under *Pinus sylvestris*. 1994. In N. Senesi, T.M. Miano (Eds.) *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science B.V. Amsterdam.

FUNES, F. Experiencias cubanas en agroecología. *Agricultura Orgánica*. La Habana, CU 1997. p 10-18.

FÜHR, F. y SAUERBECK, D. The uptake of colloidal organic substances by plant roots as shown by experiments with ¹⁴C-labelled humus compounds. 1967, p. 73-82. In Report FAO/IAEA Meeting, Viena, Pergamon Press, Oxford.

GAJDUS, R. The Use of Organic waste materials as organic fertilizar recycling of plant nutrient. *Acta Horticulturae*. 1992. No. 302:325-331.

GALLARDO, J.F. El Humus. *Investigación y ciencia*. 1980. 46, 8-16.

GARCÍA, A. Desmitificación MOS. Conferencia dictada en la cátedra Pedro Nel Gómez. Universidad Nacional Sede Medellín. 2005.

GLIESSMAN, SR.. *Agroecosistem sustainability. Developing Practical Strategies*. Ed. Edwads, CA. US. 2000, 210 p.

-----.. *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, CR. 2002, 359p

HUNCHAK-KARIOUK, K. y SUFFET, I.H.. Binding of organic pollutants to dissolved organic matter in anoxic pore waters. 1994. In N. Senesi, T.M. Miano (Eds.) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science B.V. Amsterdam.

IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica). s.f. About IFOAM: what is organic agriculture? (en línea). Consultado 20 junio 2006 en www.ifoam.org/whoisifoam/index.html.

Informe Final proyecto "Implementación de prácticas de producción limpia y manejo sostenible en sistemas agroforestales para mejorar la calidad de vida de los productores del centro del departamento del Cesar", COOPRABISCUR – Curumaní, 2005,

Informe Final proyecto "Establecimiento de un Sistema Integral Sostenible de Producción de Semillas Limpias, Agroforestería y Prácticas de Bajo Impacto Ambiental para Mejorar el Desarrollo Rural en los Municipios de Dibulla y Riohacha, Departamento de la Guajira". COOGRUPADI – Dibulla, 2005.

Informe Final "Establecimiento de un Núcleo de Pequeños Productores de Plátano en Dibulla – La Guajira para la Transición hacia la Agricultura Orgánica", financiado por ASHOFRUCOL, ejecutado por CORPOICA, Corporación PBA y COOGRUPADI, 2005

JAWETZ, E. MELNICK, L. Joseph, Adel Berg, A. Edward.. Microbiología Medica. Editorial manual Moderno, México D. F. (1985). pp. 270-283.

KREBS, H..A.. The impact of stable disifectans and veterinary medicaments on the production of biogas in livestock husbandry. 1991. Biogas Forum 2. N-45:17-22

MADIGAN M. T., Martinko J. M., Parker J. Brock Biología de los microorganismos. Octava edición revisada. Prentice Hall, Madrid. 2001.

MARTÍNEZ, V; CERDA, Nieves, M.. Efecto combinado de la salinidad y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nutrientes en plantas de tomate y pepino. Anales de Edafología y agrobiología No. 56; 1993, pp 731-740.

MARTÍNEZ V, DIBUT A B, Beneficio de la utilización de biofertilizantes en Cuba. EN: Encuentro internacional sobre agricultura urbana y su impacto sobre la alimentación de la comunidad. Memorias La Habana, CU 1995.p 61-74.

MARTÍNEZ V, R.. Características de los biofertilizantes y bioestimuladores en las regiones tropicales. La Habana, CU, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humbolt" (INIFAT) 2002, 68p.

MATSUZAKI, H.. Suelo, compost y materia orgánica. 9 ed. Editorial La luz de casa, JP. 2001. 189p

MENJIVAR, Juan Carlos. Clase sexta, química de suelos. Universidad Nacional sede Palmira – Universidad del Magdalena. 2007.

NTC-5167 (Norma Técnica Colombiana). Barreto J. R. Materiales orgánicos utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelo. 2004

OCIO, J.A. y BROOKES P.C.. Soil Biological Biochemistry, 1990 pp 22, 685.

PACHECO, F.. Producción, utilización y algunos aspectos técnicos de los biofermentos. *En: Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura.* San José CR, 2003. Memoria 123-150p.

PARR, A.J. and LOUGHAMN, B. C.. Boron and membrane functions in plants, in metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. *Annu. Porc. Phyto. Chem. Soc. Eur.* No. 21 D.A. Robb and W.S. Pierpoint, eds. Academic Press. London, 1985. Pág 87-107.

PICCOLO, A. y MBAGWU J.S.C. Exogenous humic substances as conditioners for the rehabilitation of degraded soils. *Agro-Food-Industry Hi-Tech.* Marzo/Abril 2-4. 1997.

PRAT, S. y POSPISIL, F. Humic acids with ¹⁴C. *Biologia Plantarum.* 1959.1, 71-80.

RESTREPO RIVERA, J. Agricultura orgánica: principio, objetivos y estrategias. *In* Material didáctico del X curso-taller latinoamericano sobre agricultura orgánica con énfasis en la preparación de biofertilizantes y caldos minerales para café, frutales y hortalizas. (2000, San José, CR). Ed. J García. San José, CR. Universidad Estatal a Distancia. Mercedes de Montes de Oca. 135 p.

RESTREPO, J. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. San José, CR. 2001, 155p.

RESTREPO; CASTAÑEDA, OR; Lec, R.. El café ecológico: algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización. Eds. P Castañeda; OR Castañeda. GT. 2001, 230p.

SANCHEZ, M.. Utilización agrícola del estiércol licuado de ganado porcino: método rápido de determinación del valor fertilizante. Establecimiento de las bases para el diseño de un óptimo plan de fertilización. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid, 2001. *En: www.bibliotecavirtualmigueldecervantes.* Consultado: 25 agosto de 2007.

SANCHEZ, M; MARMOLEJO F, BRAVO, N. Microbiología: Aspectos fundamentales. Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Departamento de Ciencias Básicas. 2006, 260p

SEPULVEDA, Guillermo León. Actinomicetos Filamentosos. 2007. En: http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/microbiol/Actinomicetos_Filamentosos.ppt

SOTO G, MELENDEZ, G. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología no.72:91-97. 2004

STARR, C. Biology, concepts and applications. 3ª. Ed. Wadsworth Publishing Company. 1997, 743p

THIBAUDEAU, S.. Fumier solide ou liquide: quelle est la différence?. En Soil/Fumier, octubre, nº18. 1997, Pp 32-35.

UOZUMI, M.. Pensamiento sobre agricultura orgánica: guía para agricultura orgánica: desde preparación de suelo hasta la comida. Grupo de agricultura orgánica en Japón. Tokio, 2002JP. 352 p.

URIBE, GUERRERO, H; Soto, G.. Determinación de la inocuidad de biofermentos a partir de boñiga, suero de leche y melaza. Boletín de Producción Orgánica. 2004, No2. Turrialba, CATIE, CR. 1

USUGAMI, H.. How to make and use the fermented fertilizer. Nobunkyo. Tokyo, 1999. 139p.

VARANINI, Z. y PINTON, R. Humic substances and plant nutrition. Progress in Botany, 1995, 56, 97-116.

VAUGHAN, D. y ORD, B.G.. Uptake and incorporation of ¹⁴C-labelled soil organic matter by roots of *Pisum sativum* L. J. Exp. Bot, 1981. 32, 679-687.

VILLENUEVE, F. Matière organique & production intégrée. Infos (París) 1997. nº 134. Pp 28-33.

ANEXO 1. Anova de las variables químicas evaluadas.

- Nitrógeno

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	433686.8480	72281.1413	6.93	0.0077	0.83	13.28
Error	8	83436.4160	10429.5520				
Total	14	517123.2640					
Tratamiento	4	401075.5840	100268.8960	9.61	0.0038		
Rep	2	32611.2640	16305.6320	1.56	0.2672		

- Fósforo

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	11977.53880	1996.25647	59.20	<.0001	0.97	3.33
Error	8	269.78005	33.72251				
Total	14	12247.31885					
Tratamiento	4	11906.00538	2976.50135	88.26	<.0001		
Rep	2	71.53342	35.76671	1.06	0.3903		

- Potasio

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	1835980.800	305996.800	16.71	0.0004	0.92	10.01
Error	8	146466.133	18308.267				
Total	14	1982446.933					
Tratamiento	4	1795012.267	448753.067	24.51	0.0002		
Rep	2	40968.533	20484.267	1.12	0.3729		

- Calcio

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	217544.5333	36257.4222	3.12	0.0699	0.70	5.98
Error	8	92919.4667	11614.9333				
Total	14	310464.0000					
Tratamiento	4	176757.3333	44189.3333	3.80	0.0510		
Rep	2	40787.2000	20393.6000	1.76	0.2332		

- Magnesio

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	16032.00000	2672.00000	1.32	0.3502	0.49	9.35
Error	8	16251.73333	2031.46667				
Total	14	32283.73333					
Tratamiento	4	11217.06667	2804.26667	1.38	0.3227		
Rep	2	4814.93333	2407.46667	1.19	0.3542		

- Sodio

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	2557979.733	426329.956	9.73	0.0026	0.87	14.95
Error	8	350579.200	43822.400				
Total	14	2908558.933					
Tratamiento	4	2365337.600	591334.400	13.49	0.0012		
Rep	2	192642.133	96321.067	2.20	0.1735		

- Azufre

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	136535.5833	22755.9306	50.34	<.0001	0.97	8.11
Error	8	3616.4316	452.0539				
Total	14	140152.0149					
Tratamiento	4	135605.2075	33901.3019	74.99	<.0001		
Rep	2	930.3758	465.1879	1.03	0.4002		

- Carbono Orgánico

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	2149087.417	358181.236	2.15	0.1556	0.61	12.75
Error	8	1329924.022	166240.503				
Total	14	3479011.439					
Tratamiento	4	1325709.232	331427.308	1.99	0.1885		
Rep	2	823378.184	411689.092	2.48	0.1455		

- Hierro

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	590.9307200	98.4884533	2.17	0.1533	0.61	14.86
Error	8	362.9318400	45.3664800				
Total	14	953.8625600					
Tratamiento	4	563.5513600	140.8878400	3.11	0.0808		
Rep	2	27.3793600	13.6896800	0.30	0.7476		

- Cobre

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	140.6762133	23.4460356	2.58	0.1079	0.65	109.88
Error	8	72.7993600	9.0999200				
Total	14	213.4755733					
Tratamiento	4	124.2582400	31.0645600	3.41	0.0656		
Rep	2	16.4179733	8.2089867	0.90	0.4433		

- Manganeso

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	71.9325333	11.9887556	2.55	0.1100	0.65	24.19
Error	8	37.5636267	4.6954533				
Total	14	109.4961600					
Tratamiento	4	49.18869333	12.29717333	2.62	0.1149		
Rep	2	22.74384000	11.37192000	2.42	0.1505		

- Zinc

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	7.66128000	1.27688000	1.13	0.4225	0.45	47.58
Error	8	9.01301333	1.12662667				
Total	14	16.67429333					
Tratamiento	4	7.42122667	1.85530667	1.65	0.2539		
Rep	2	0.24005333	0.12002667	0.11	0.9002		

- Boro

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	212.4082537	35.4013756	19.79	0.0002	0.93	14.12
Error	8	14.3108803	1.7888600				
Total	14	226.7191340					
Tratamiento	4	205.4276370	51.3569092	28.71	<.0001		
Rep	2	6.9806167	3.4903083	1.95	0.2041		

- Relación C:N

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	10.92482233	1.82080372	3.78	0.0435	0.73	15.95
Error	8	3.85034849	0.48129356				
Total	14	14.77517083					
Tratamiento	4	6.27309108	1.56827277	3.26	0.0728		
Rep	2	4.65173125	2.32586563	4.83	0.0421		

- pH

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	0.06532000	0.01088667	3.01	0.0764	0.69	1.16
Error	8	0.02897333	0.00362167				
Total	14	0.09429333					
Tratamiento	4	0.06242667	0.01560667	4.31	0.0377		
Rep	2	0.00289333	0.00144667	0.40	0.6834		

- Conductividad eléctrica

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	28.03333333	4.67222222	6.56	0.0092	0.83	6.82
Error	8	5.70000000	0.71250000				
Total	14	33.73333333					
Tratamiento	4	24.40000000	6.10000000	8.56	0.0055		
Rep	2	3.63333333	1.81666667	2.55	0.1391		

ANEXO 2. Anova de las variables biológicas evaluadas.

- Bacterias

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coficiente Variación
Modelo	6	28946.25334	4824.37556	67.27	<.0001	0.98	15.20
Error	8	573.71029	71.71379				
Total	14	29519.96363					
Tratamiento	4	28824.71620	7206.17905	100.49	<.0001		
Rep	2	121.53714	60.76857	0.85	0.4637		

- Hongos

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coficiente Variación
Modelo	6	7752.566756	1292.094459	6.89	0.0079	0.83	60.80
Error	8	1501.116078	187.639510				
Total	14	9253.682834					
Tratamiento	4	7713.622108	1928.405527	10.28	0.0031		
Rep	2	38.944648	19.472324	0.10	0.9026		

- Levaduras

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coficiente Variación
Modelo	6	19812.75096	3302.12516	2.42	0.1235	0.64	107.96
Error	8	10927.80685	1365.97586				
Total	14	30740.55781					
Tratamiento	4	16528.26233	4132.06558	3.02	0.0855		
Rep	2	3284.48863	1642.24432	1.20	0.3495		

- Bacterias fijadoras de nitrógeno

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coficiente Variación
Modelo	6	777.7772108	129.6295351	28.95	<.0001	0.95	6.94
Error	8	35.8170725	4.4771341				
Total	14	813.5942833					
Tratamiento	4	765.6096879	191.4024220	42.75	<.0001		
Rep	2	12.1675230	6.0837615	1.36	0.3104		

- Actinomicetos

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	2062.423347	343.737224	9.54	0.0028	0.87	43.59
Error	8	288.166589	36.020824				
Total	14	2350.589936					
Tratamiento	4	1998.126480	499.531620	13.87	0.0011		
Rep	2	64.296867	32.148434	0.89	0.4468		

- Coliformes totales

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	1860.891118	310.148520	14.57	0.0006	0.91	32.43
Error	8	170.273689	21.284211				
Total	14	2031.164807					
Tratamiento	4	1844.144418	461.036105	21.66	0.0002		
Rep	2	16.746700	8.373350	0.39	0.6871		

- Coliformes fecales

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F	R ²	Coefficiente Variación
Modelo	6	155.4339037	25.9056506	1.81	0.2151	0.57	129.32
Error	8	114.7664561	14.3458070				
Total	14	270.2003598					
Tratamiento	4	146.0335440	36.5083860	2.54	0.1215		
Rep	2	9.4003597	4.7001799	0.33	0.7299		

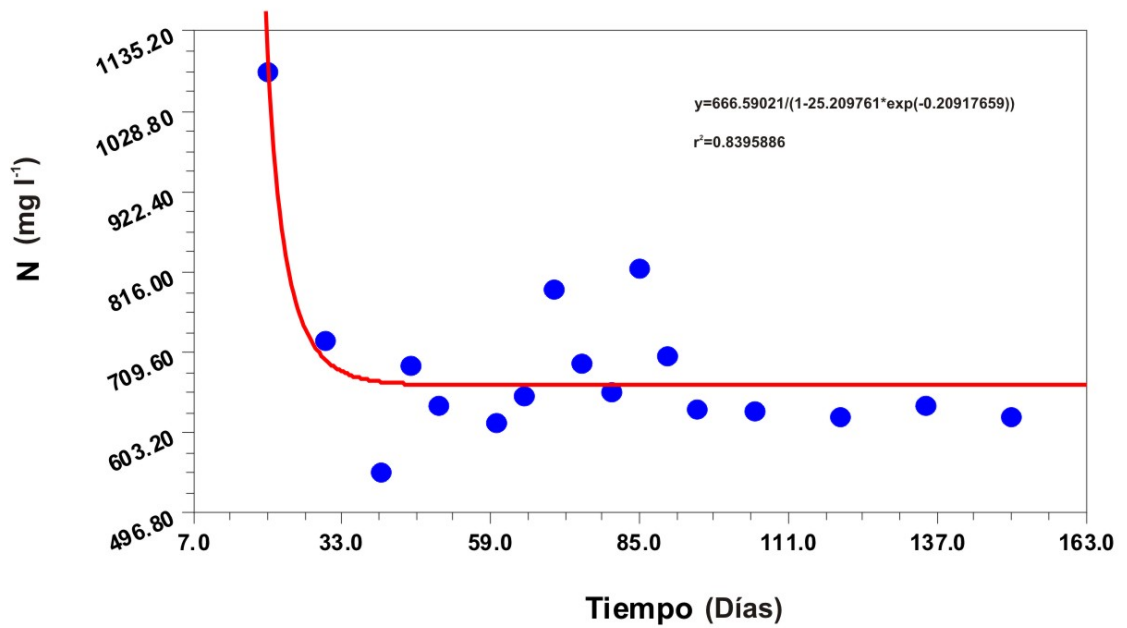
ANEXO 3. Matriz de correlación de variables canónicas estandarizadas.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	CO	Fe	Cu	Mn	Zn	B	C:N	pH	CE	Bact	Hongo	Levad	FijaN	Actino	ColT	ColF		
N	1,0000																								
P	-0,0300	1,0000																							
K	0,7613		1,0000																						
Ca	-0,0589	-0,1345	0,5506	1,0000																					
Mg	0,5802	0,1730	0,5276	0,0001	1,0000																				
Na	-0,0693	0,2307	0,4536	0,6604	0,0001	1,0000																			
S	0,4827	0,0179	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	1,0000																		
CO	0,1866	0,1952	0,0488	0,2419	0,1306	0,1000	0,0129	1,0000																	
Fe	0,0566	0,0459	0,6214	0,0129	0,1841	0,0962	-0,3817	0,0979	0,3222	0,1439	0,1411	0,0962	-0,3817	1,0000											
Cu	0,3203	0,0008	0,1431	0,1511	0,3289	<0,0001	<0,0001	0,3203	0,0008	0,1431	0,1511	0,3289	<0,0001	<0,0001	1,0000										
Mn	-0,0023	0,3211	0,2936	0,3575	0,1702	0,1572	0,2395	0,9815	0,0008	0,0024	0,0002	0,0827	0,1092	0,0139	0,0002	1,0000									
Zn	-0,0925	0,5501	-0,0424	0,1798	0,1869	-0,0353	0,1794	0,3481	<0,0001	0,6680	0,0665	0,0563	0,7208	0,0670	0,0002	0,0002	1,0000								
B	-0,0024	0,1507	0,2121	0,2801	0,1565	-0,0479	0,2226	0,9807	0,1249	0,0298	0,0038	0,1108	0,6276	0,0225	0,0004	0,0292	0,0004	1,0000							
C:N	-0,0690	0,7443	-0,1715	0,1706	0,2729	-0,0130	0,3700	0,1902	0,6107	0,2023	1,0000														
pH	0,4842	<0,0001	0,0802	0,0820	0,0049	0,8952	0,0001	0,0520	<0,0001	0,0385	0,0385	1,0000													
CE	-0,0895	0,2444	0,3530	0,2934	0,1496	0,0294	0,2105	0,4691	0,4136	0,3286	0,2400	0,0000	1,0000												
Bact	0,3693	0,0120	0,0002	0,0024	0,1278	0,7659	0,0311	<0,0001	<0,0001	0,0006	0,0137	0,0006	0,0137	1,0000											
Hongo	0,0306	0,2547	0,2357	0,1594	0,1290	0,0964	0,0891	0,4378	0,2030	0,2056	0,1669	0,1197	1,0000												
Levad	0,7569	0,0087	0,0155	0,1042	0,1897	0,3281	0,3659	<0,0001	0,0378	0,0354	0,0887	0,2237	0,0887	1,0000											
FijaN	-0,5182	0,2788	0,2763	0,3042	0,1651	0,0198	0,1335	0,7923	0,3407	0,2321	0,1889	0,4451	0,3655	0,0001	1,0000										
Actino	<0,0001	0,0040	0,0043	0,0016	0,0925	0,8415	0,1744	<0,0001	0,0004	0,0172	0,0536	<0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	1,0000									
ColT	-0,1297	-0,7383	0,3412	0,0987	0,0860	-0,2912	-0,0979	-0,3409	-0,5051	-0,0793	-0,6139	-0,1989	-0,2973	-0,2273	1,0000										
ColF	0,1873	<0,0001	0,0004	0,3164	0,3832	0,0026	0,3207	0,0004	<0,0001	0,4216	<0,0001	0,0420	0,0021	0,0197	0,0197	1,0000									
	-0,1371	0,0402	-0,0539	-0,0510	0,1510	-0,1208	0,1638	-0,1684	-0,0764	0,0073	0,1105	-0,0193	-0,0920	-0,0936	0,0942	1,0000									
	0,1631	0,6839	0,5851	0,6051	0,1242	0,2198	0,0950	0,0860	0,4387	0,9407	0,2618	0,8452	0,3507	0,3423	0,3391	0,3391	1,0000								
	-0,0343	0,2123	-0,1475	-0,1036	-0,0253	-0,0185	0,2487	0,3199	0,1341	0,0587	0,1249	0,1530	-0,2010	0,3510	-0,2436	0,0140	1,0000								
	0,7286	0,0297	-0,1332	0,2931	0,7981	0,8514	0,0105	0,0009	0,1728	0,5522	0,2041	0,1193	0,0398	0,0002	0,0123	0,8872	0,8872	1,0000							
	-0,1412	0,0248	-0,0067	-0,0194	-0,0304	-0,0064	-0,1815	0,1823	0,0183	0,0355	-0,0080	-0,0440	0,2229	-0,1992	-0,1457	0,1181	-0,0541	1,0000							
	0,1509	0,8015	0,9462	0,8446	0,7581	0,9487	0,0639	0,0627	0,8534	0,7194	0,9357	0,6559	0,0223	0,0416	0,1381	0,2301	0,5839	0,5839	1,0000						
	-0,1932	0,1852	-0,0602	0,0245	0,0927	-0,0003	-0,1316	0,2947	0,2603	0,1130	0,1175	0,1001	0,0618	0,3748	-0,1831	-0,0019	0,1331	0,3036	1,0000						
	0,0484	0,0586	0,5420	0,8042	0,3472	0,9975	0,1808	0,0023	0,0073	0,2511	0,2324	0,3094	0,5309	<0,0001	0,0616	0,9847	0,1760	0,0016	0,0016	1,0000					
	0,0255	0,1541	0,0122	-0,0004	0,0496	-0,0253	0,1257	0,4117	0,2608	0,2486	0,1370	0,3332	-0,0355	0,3234	-0,1678	0,1257	0,3486	0,1102	0,5642	1,0000					
	0,7960	0,1166	0,9018	0,9968	0,6150	0,7980	0,2015	<0,0001	0,0072	0,0106	0,1634	0,0005	0,7189	-0,0008	0,0870	0,2013	0,0003	0,2633	<0,0001	1,0000					
	0,0770	0,1552	-0,0464	-0,0657	0,1169	-0,2960	0,4748	0,1297	0,1212	0,0012	0,2536	0,1634	-0,1837	0,0786	-0,0858	0,0913	0,3845	-0,1065	0,2024	0,4138	1,0000				
	0,4352	0,1138	0,6382	0,5057	0,2350	0,0022	<0,0001	0,1872	0,2180	0,9903	0,0091	0,0959	0,0607	0,4258	0,3840	0,3543	<0,0001	0,2797	0,0384	<0,0001	1,0000				
	0,2046	-0,1753	0,0476	-0,1161	-0,1026	0,2902	-0,3104	-0,2359	-0,1299	-0,1553	-0,1235	-0,0580	-0,0442	-0,2900	0,0826	-0,2632	-0,3132	-0,1377	-0,2348	-0,2594	-0,199	1,0000			
	0,0363	0,0737	0,6294	0,2384	0,2976	0,0027	0,0013	0,0154	0,1865	0,1138	0,2095	0,5565	0,6546	0,0027	0,4022	0,0067	0,0011	0,1613	0,0159	0,0075	0,042	1,0000			
	0,3573	-0,0614	0,0841	0,0089	-0,0937	0,0533	-0,0525	0,1848	0,1318	-0,0641	-0,1071	-0,0700	0,1290	-0,0071	-0,1185	-0,2644	-0,0133	0,1255	0,1124	-0,0214	-0,140	0,0976	1,0000		
	0,0002	0,5341	0,3936	0,9281	0,3417	0,5891	0,5945	0,0592	0,1803	0,5159	0,2768	0,4778	0,1898	0,9428	0,2285	0,0064	0,8927	0,2023	0,2537	0,8287	0,153	0,3220	1,0000		

ANEXO 4. Contenido de nitrógeno, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.

Tiempo (días)	Nitrógeno (mg L ⁻¹)
20	1082,67 a
30	726,13 cbd
40	550,2 e
45	693,47 cebd
50	640,89 ced
60	616 ed
65	653,33 ced
70	793,33 cb
75	696,89 cebd
80	658 ced
85	821,33 b
90	704,67 cebd
95	634,67 ed
105	632,33 ed
120	625,33 ed
135	639,33 ced
150	625,33 ed

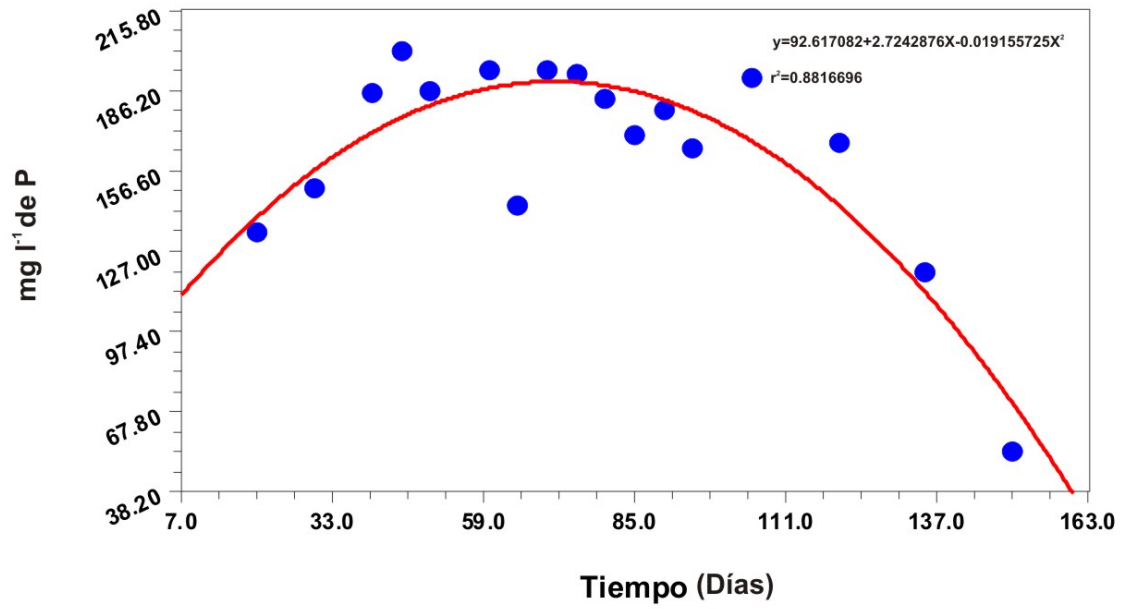
ANEXO 5. Modelo de regresión logarítmica del contenido de nitrógeno con relación al tiempo.



ANEXO 6. Contenido de fósforo, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.

<u>Tiempo (días)</u>	<u>Fósforo (mg L⁻¹)</u>
20	134,23 bc
30	150,92 bac
40	185,84 ba
45	201,61 a
50	186,61 a
60	194,18 a
65	144,15 bac
70	194,18 a
75	192,16 a
80	183,39 ba
85	170,52 bac
90	179,73 ba
95	165,14 bac
105	191,37 a
120	167,91 bac
135	119,49 c
150	53,04 d

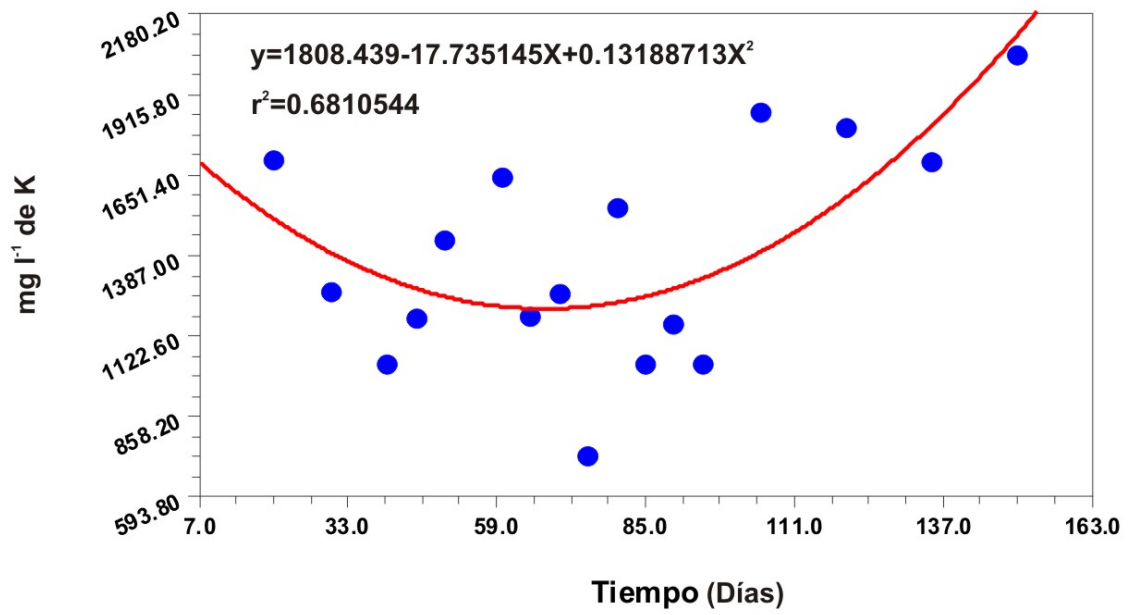
ANEXO 7. Modelo de regresión cuadrática del contenido de fósforo en relación al tiempo.



ANEXO 8. Contenido de potasio, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.

Tiempo (días)	Potasio (mg L ⁻¹)
20	1701,3 bdc
30	1266,7 ef
40	1032,0 f
45	1181,3 ef
50	1434,7 ed
60	1646,7 bdc
65	1184,0 ef
70	1261,3 ef
75	726,2 g
80	1541,3 dc
85	1026,7 f
90	1162,7 ef
95	1026,7 f
105	1860,0 ba
120	1808,9 bac
135	1692,0 bdc
150	2048,0 a

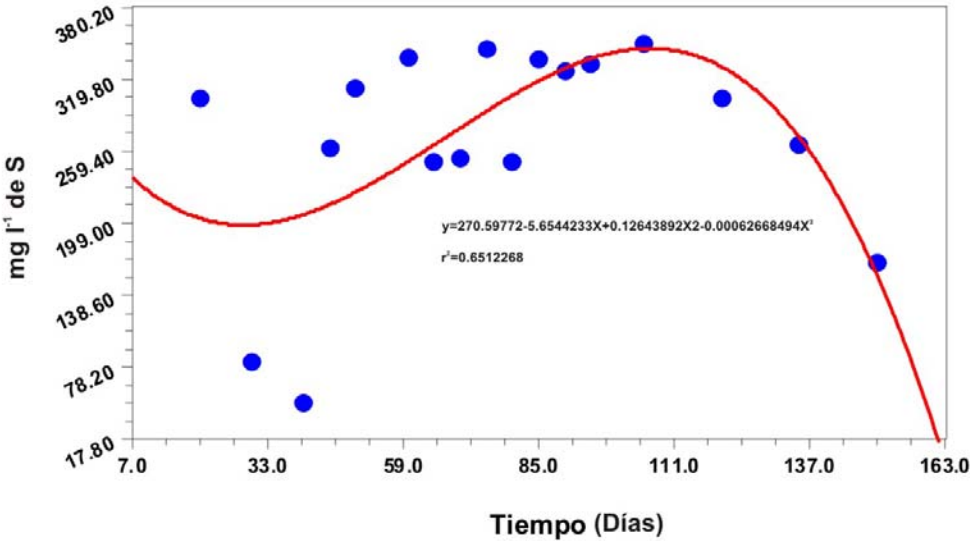
ANEXO 9. Modelo de regresión cuadrática del contenido de potasio en relación al tiempo.



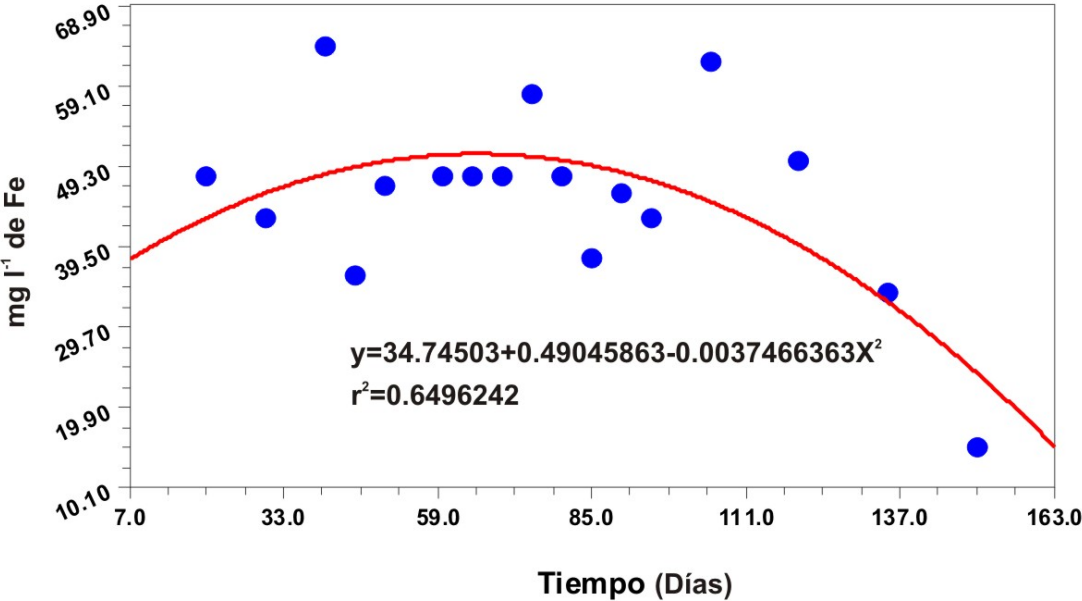
ANEXO 10. Variación del contenido de calcio, magnesio y azufre, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.

Tiempo (días)	Calcio (mg L ⁻¹)	Magnesio (mg L ⁻¹)	Azufre (mg L ⁻¹)
20	1896,7 bac	441,33 b	303,80 bac
30	1737,3 bdc	460,00 ba	83,12 d
40	1773,3 bdac	490,67 ba	48,28 e
45	1701,3 bdc	501,33 ba	261,92 bc
50	1827,6 bdac	474,67 ba	311,52 ba
60	1984,0 a	498,67 ba	337,90 a
65	1733,3 bdc	488,00 ba	250,74 c
70	1688,0 bdc	520 ba	254,18 bc
75	1565,3 bdc	439,11 b	345,25 a
80	1557,3 dc	444,00 b	249,79 c
85	1645,3 bdc	490,67 ba	336,26 a
90	1442,7 d	452,00 b	327,00 a
95	1829,3 bdac	480,44 ba	332,35 a
105	2158 a	517,33 ba	349,79 a
120	1944,9 bac	525,33 ba	303,25 bac
135	1904,0 bac	457,33 b	265,00 bc
150	1914,7 bac	557,33 a	166,45 d

ANEXO 11. Modelo de regresión polinomial de tercer grado, del contenido de azufre en relación al tiempo.



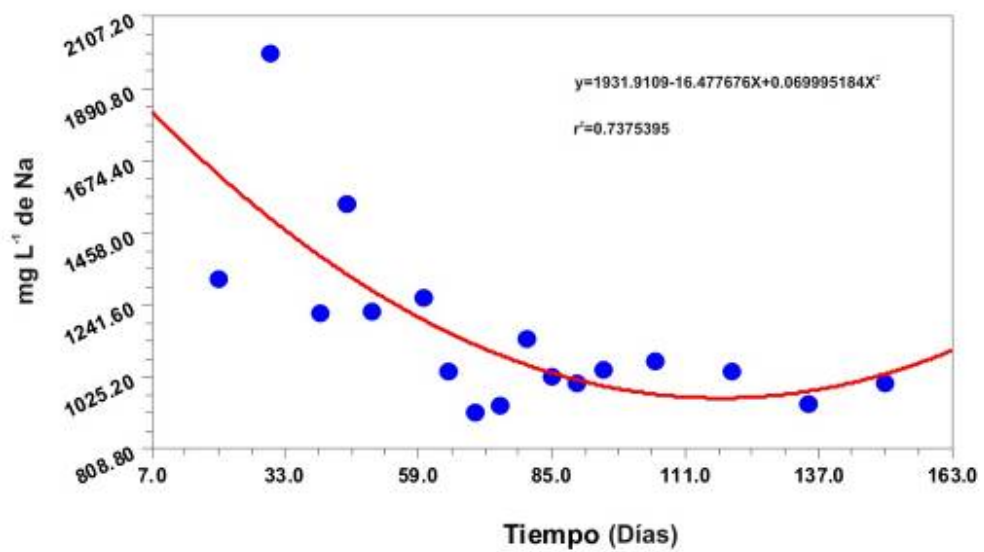
ANEXO 12. Modelo de regresión cuadrática del contenido de hierro en relación al tiempo.



ANEXO 13. Variación del contenido de zinc y boro, en el compuesto orgánico, en función del tiempo de fermentación y almacenamiento.

Tiempo (días)	Zinc (mg*L ⁻¹)	Boro (mg*L ⁻¹)
20	2,500 bc	10,167 c
30	2,107 bc	6,891 de
40	1,333 c	6,028 def
45	1,467 bc	5,368 ef
50	2,147 bc	13,695 b
60	2,667 bc	15,416 b
65	3,833 bc	6,021 def
70	1,867 bc	18,948 a
75	1,222 c	6,852 de
80	5,293 ba	6,385 de
85	1,040 c	0,551 h
90	2,820 bc	1,201 h
95	1,182 c	1,521 hg
105	8,443 a	8,199 dc
120	3,04 bc	5,423 ef
135	0,733 c	5,067 ef
150	0,373 c	3,656 gf

ANEXO 14. Modelo de regresión cuadrática del contenido de sodio en relación al tiempo.



ANEXO 15. Modelo de regresión del contenido de manganeso en relación al tiempo.

