

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN
LA CALIDAD NUTRICIONAL E INOCUIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE
FERTILIZANTES ORGÁNICOS FERMENTADOS**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Por

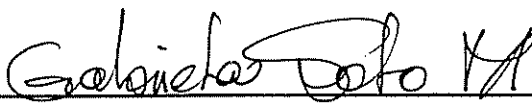
Shingo Ito

Turrialba, Costa Rica, 2006


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica


FIRMANTES:



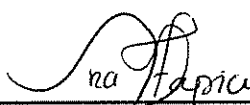
Gabriela Soto, M.Sc.
Consejero Principal



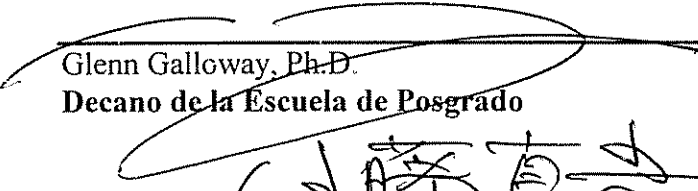
Ana Pugeney, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



Ana Tapia, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Shingo Ito
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres Hitoshi y Chisumi, por su entendimiento y darme la oportunidad de conocer el mundo.

A mi hermano Hiroyuki y su familia, Ayako, Nanako y Kyouhei, por su gran apoyo.

A mi esposa Dina y a mi hijo Shinnosuke, sin quienes no hubiera logrado alcanzar esta meta.

A Yorleny, quien aunque ya no está con nosotros, nos acompaña siempre en lo más profundo del corazón.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores consejeros, MSc. Gabriela Soto, Ph.D. Analía Pugéner, Ph.D. Fernando Casanoves y MSc. Ana Tapía, por su gran paciencia y entendimiento de las dificultades durante mi vida estudiantil.

A los agricultores que me abrieron las puertas e hicieron posible llevar a cabo este estudio.

A los funcionarios del CATIE que de una forma u otra colaboraron en la realización de este estudio.

A mis compañeros estudiantes por su ayuda en cada paso y sus valiosas enseñanzas que han sido y serán siempre de gran valor.

A Rotary International por darme la oportunidad de conocer un país tan hermoso como Costa Rica, su gente, sus costumbres; y a la vez la oportunidad de mostrarles una parte de la cultura de mi país natal, Japón.

A la familia Alvarado Quirós, Rolando, Marjorie, Yorleny, Luis, Ricardo, Diana y David, por acogerme como un miembro más de su familia y su apoyo incondicional en todo momento.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Hiroshima (Japón) el 27 de junio de 1968. Se graduó en la facultad de ganadería de la Universidad de Obihiro (Japón) en 1995. En Japón se desempeñó como profesor de Ciencias Naturales y Matemática de educación secundaria superior. De 1997 hasta el 2000 trabajó como voluntario de JICA (Japan Internacional Cooperation Agency) como profesor en la Escuela Nacional de Agricultura “Roberto Quiñonez” (ENA) en El Salvador, en el área de control de plagas y enfermedades.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
BIOGRAFÍA.....	v
CONTENIDO	vi
RESUMEN.....	viii
SUMMARY	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	xii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio.....	4
1.1.1 Objetivo general.....	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
1.2 Hipótesis del estudio	4
2 MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1 Agricultura ecológica.....	5
2.1.1 Agricultura orgánica.....	5
2.2 Abonos orgánicos.....	7
2.2.1 Abonos orgánicos fermentados líquidos	8
2.2.2 Fertilizantes orgánicos fermentados (FOF).....	9
2.3 Regulaciones para la producción orgánica.....	15
2.3.1 Unión Europea	15
2.3.2 National Organic Program (NOP), USA.....	16
2.3.3 Costa Rica	17
3 MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 FASE 1. Diagnóstico de la calidad de FOF producidos en Costa Rica.....	18
3.1.1 Localización	18
3.1.2 Encuesta y muestreo.....	19
3.1.3 Análisis químico y evaluación de nutrimentos	21
3.1.4 Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad	21
3.1.5 Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación).....	21
3.1.6 Pruebas de invernadero	22
3.2 FASE 2. Análisis y evaluación de los factores que afectan la calidad de los FOF elaborados en laboratorio	24
3.2.1 Elementos que afectan la calidad de los FOF	24
3.2.2 Elaboración de los FOF.....	25
3.2.3 Análisis químico y evaluación de nutrimentos	25
3.2.4 Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad	26
3.2.5 Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación).....	26

3.2.6	Prueba de invernadero.....	26
4	RESULTADOS.....	29
4.1	FASE 1. Diagnóstico de la calidad de fertilizantes orgánicos fermentados (FOF) producidos en Costa Rica.....	29
4.1.1	Encuesta sobre el proceso de elaboración del FOF.....	29
4.1.2	Caracterización de los FOF.....	31
4.1.3	Análisis químico y evaluación de nutrimentos.....	36
4.1.4	Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad.....	41
4.1.5	Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación).....	42
4.1.6	Ensayos en invernadero.....	44
4.1.7	Agrupamiento estadístico de los FOF.....	46
4.2	FASE 2. Análisis y evaluación de los factores que afectan la calidad de los FOF elaborados en laboratorio.....	47
4.2.1	Análisis químico (Evaluación de nutrimentos).....	47
4.2.2	Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad.....	55
4.2.3	Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación).....	56
4.2.4	Ensayo en invernadero.....	57
5	DISCUSIÓN.....	59
5.1	Fertilización foliar.....	59
5.2	Aspectos generales del proceso de elaboración de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF).....	59
5.3	Análisis químico.....	61
5.4	Análisis microbiológico.....	65
5.5	Pruebas de germinación y evaluación de fitotoxicidad.....	68
5.6	Ensayos en invernadero.....	69
6	CONCLUSIONES.....	72
7	RECOMENDACIONES.....	74
8	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	ANEXOS.....	83

RESUMEN

Se estudiaron los factores de producción que influyen en la calidad de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF), según su calidad nutricional e inocuidad. Para este fin, se llevaron a cabo experimentos con FOF elaborados por pequeños agricultores orgánicos de las zonas de Turrialba, Zarcero y Pérez Zeledón en Costa Rica. Para el análisis se utilizó además FOF producido por el autor del estudio. Los resultados de los análisis químicos mostraron niveles altos de nitrógeno alrededor de los 30 días y una marcada disminución a los 45 días. Los resultados de los análisis microbiológicos indicaron ausencia de *Salmonella* en todos los fertilizantes analizados de los agricultores y del autor. No se presentaron coliformes totales ni *Escherichia coli* en ninguno de los fertilizantes analizados, excepto uno. En cuanto a los ingredientes utilizados, la adición de arena de mar parece ser una fuente importante de minerales como Fe, Mn, Cu y otros óxidos de metales, se encontraron altas cantidades de fósforo en los fertilizantes con mayor contenido de estiércol, altas cantidades de potasio en los fertilizantes con mayor contenido de melasa. En general las dosis utilizadas por los agricultores actualmente no parecen tener efectos negativos de fitotoxicidad. Así mismo, en los ensayos de invernadero no se observaron síntomas de fitotoxicidad. En cuanto a los aspectos técnicos de la elaboración de los FOF, se observaron deficiencias en el manejo de las válvulas de escape de gas, lo que propició la entrada de aire, afectando la calidad del producto final.

SUMMARY

A study took place to determinate the factors that influence the quality of the production of fermented organic fertilizers, according to its nutritional quality and inocuity. To achieve this, experiments were conducted using fermented organic fertilizers made by small organic farmers from the following zones in Costa Rica: Turrialba, Zarcero and Pérez Zeledón. In the analysis, fermented organic fertilizers prepared by this study's author were also used. The chemical analysis results showed high nitrate nitrogen levels within 30 days and a pronounced diminution at 45 days. The microbiological analysis results showed no presence of *Salmonella* in either the author's or in all the farmers' fertilizers. There were no total coliform or *Escherichia coli* in the analyzed fertilizers, except one. Related to the ingredients used, adding sea sand seems to be an important source of minerals such as Fe, Mn, Cu and other metal oxides; high phosphorus amounts were found in fertilizers with high manure content, high potassium amounts in fertilizers with high sugar cane syrup amount. In general, the doses used by the farmers nowadays do not seem to have negative fitotoxical effects. Therefore, in the greenhouse essays, fitotoxicity symptoms were not observed. Related to the fermented organic fertilizers production technical aspects, deficient gas escape valve handle was observed, which caused air income, affecting the final product quality.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ejemplo de cuadro de cantidad de ingredientes principales con denominación por sigla.	20
Cuadro 2. FOF preparados en laboratorio, indicando ingredientes principales y cantidad en gramos y mililitros (dos repeticiones para cada fertilizante).	25
Cuadro 3. Cantidad de ingredientes principales agrupados en tres categorías y agua como ingrediente complementario, utilizado en la elaboración de los FOF por los agricultores de Costa Rica.....	32
Cuadro 4. Microorganismos y levaduras agregados por los agricultores de Costa Rica a los FOF durante el proceso de elaboración.....	34
Cuadro 5. Ingredientes opcionales (sales minerales) agregados por los agricultores de Costa Rica a los FOF durante el proceso de elaboración. Unidad = kg.....	35
Cuadro 6. Otros ingredientes opcionales agregados por los agricultores de Costa Rica a los FOF durante el proceso de elaboración.....	35
Cuadro 7. Resultados del análisis químico de las muestras tomadas a los FOF elaborados por los agricultores de Costa Rica.	36
Cuadro 8. Resultados del análisis microbiológico de las muestras tomadas a los FOF elaborados por los agricultores de Costa Rica.	42
Cuadro 9. Tasa de germinación (%) de semillas de repollo (<i>Brassica olearacea</i>) tratadas con los FOF elaborados por los agricultores; con dosis aplicadas: 2,5 % y 10 %. Los valores representan el promedio de tres repeticiones.	43
Cuadro 10. Promedio de crecimiento total (última medición – medición inicial) de los tratamientos a los que se les aplicaron los distintos fertilizantes (suelo + 20 % de compost + 2,5 % y 10 % de FOF) en el Ensayo 1 de la Fase 1.	44
Cuadro 11. Promedio de crecimiento total (última medición – medición inicial) de los tratamientos a los que se les aplicaron los distintos fertilizantes (Suelo + 5 % de compost + 2,5 % y 10 % de FOF) en el Ensayo 2 de la Fase 1.	45
Cuadro 12. Resultados promedio de los análisis químicos de los FOF elaborados en laboratorio, realizados a los 15, 30 y 45 días para N-NH ₄ , N-NO ₃ , N-total y pH de comenzado el proceso de fermentación.	48
Cuadro 13. Resultados promedio del análisis químico de los FOF elaborados en laboratorio, realizado a los 45 días, para fósforo, potasio, calcio y magnesio.	53
Cuadro 14. Resultados promedio de análisis microbiológico de los FOF elaborados en laboratorio.....	56
Cuadro 15. Tasa de germinación (%) de semillas de repollo (<i>Brassica olearacea</i>) tratadas con los FOF elaborados en laboratorio; con dosis aplicadas: 2,5 % y 10 %. Los valores representan el promedio de tres repeticiones.....	57
Cuadro 16. Promedio de crecimiento total (última medición – medición inicial) de los tratamientos a los que se les aplicaron los distintos fertilizantes (Suelo + 5 % de compost + 2,5 % y 10 % de FOF) en el ensayo de la Fase 2.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización de las áreas incluidas en el estudio</i>	19
<i>Figura 2. Agrupamiento de los FOF de acuerdo a sus características (ingredientes, resultados de análisis químicos, microbiológicos y de fitotoxicidad)</i>	47
<i>Figura 3. Variación del pH a través del tiempo durante el proceso de elaboración del FOF en laboratorio</i>	49
<i>Figura 4. Variación del N-NH₄ a través del tiempo durante el proceso de elaboración del FOF en laboratorio</i>	50
<i>Figura 5. Variación del N-NO₃ a través del tiempo durante el proceso de elaboración del FOF en laboratorio.</i>	52
<i>Figura 6. Cantidad promedio y error estándar del contenido de fósforo para cada FOF</i>	53
<i>Figura 7. Cantidad promedio y error estándar del contenido de potasio para cada FOF</i>	54
<i>Figura 8. Cantidad promedio y error estándar del contenido de calcio para cada FOF</i>	54
<i>Figura 9. Cantidad promedio y error estándar del contenido de magnesio para cada FOF</i>	55

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

BSF: Banco de Semillas Forestales, CATIE

CAFESA: Compañía Costarricense del Café S.A.

CE: Conductividad Eléctrica

CIA: Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR

CO: Carbono Orgánico

EARTH: Escuela Agrícola Regional del Trópico Húmedo

EM: Microorganismos Eficaces

FOF: Fertilizante Orgánico Fermentado

IFOAM: *International Federation of Organic Agricultural Movements*/Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica

MM: Microorganismos de Montaña

MO: Materia Orgánica

NOP: *National Organic Program of the United States Department of Agriculture*/Programa Orgánico Nacional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

UCR: Universidad de Costa Rica

1 INTRODUCCIÓN

Después del surgimiento de los insumos químicos sintéticos (fertilizantes, herbicidas, pesticidas), se creyó que estos se podrían utilizar indiscriminadamente sin pensar en los posibles efectos secundarios que surgirían en detrimento del ambiente y la salud humana. Sin embargo, 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. Además, 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). Por otra parte, tanto la salud del agricultor y su familia como la del público consumidor en general se han visto tan afectadas por la utilización indiscriminada de dichos insumos químicos, que hoy en día se reconoce que es necesario un uso racional de este tipo de productos (Matsuzaki 2001, Uozumi 2002). Así, en la actualidad es tal el grado de convencimiento de la peligrosidad que conlleva el uso y la manipulación de los pesticidas agrícolas, que algunos agricultores han optado por no utilizarlos en absoluto.

La agricultura orgánica surge como una de las alternativas que permite reducir el problema de contaminación (Jiménez y Lamo 1998, Soto y Meléndez 2004). La agricultura orgánica representa una estrategia que se encuentra en un proceso de diseminación y uso por parte de muchos agricultores en todo el mundo. Más aún, muchos países han demostrado su interés en utilizarla como una alternativa a las prácticas convencionales (FAO s.f.). En Costa Rica, desde finales de los años '80 la agricultura orgánica ha tenido un desarrollo positivo en diferentes regiones del país. Muchos agricultores se han interesado en producir en una forma sana, mejorando la calidad de los suelos y conservando los recursos naturales. Actualmente en este país existen aproximadamente 9000 hectáreas dedicadas a la agricultura orgánica, en las que se producen más de 30 productos diferentes, algunos de los cuales están siendo industrializados. En total, la actividad involucra a alrededor de 4000 personas tanto en producción como en agroindustria rural (PNAO s.f.). Un aspecto positivo que ha tenido la incorporación de sistemas de producción orgánicos en Costa Rica ha sido que, en comparación con los sistemas industrializados utilizados comúnmente en el país. Esto ha

posibilitado el aumento de la productividad de la finca, por medio de un mayor número de cosechas que se obtienen en un tiempo dado (García 1997).

En la agricultura orgánica, los fertilizantes químicos son reemplazados por abonos orgánicos y fertilizantes artesanales naturales. Estos abonos le permiten al agricultor acceder a un mercado en el cual sus productos reciben precios más elevados que los productos cultivados con el uso de insumos químicos sintéticos (Udagawa 1999). 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). Esto se debe a que dichas excretas pueden presentar agentes contaminantes tales como altos contenidos de nitrógeno y/o la presencia de microorganismos patógenos, como por ejemplo *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli* (Gómez *et al.* 2004).

Los abonos orgánicos se aplican directamente sobre los suelos o sobre el follaje (Restrepo 2001). Estos últimos son elaborados, más comúnmente, sobre la base de excretas de animales, plantas verdes o frutas (Restrepo 2001, Soto 2003). De estos distintos tipos, el elaborado sobre la base de la fermentación de estiércol, denominado en este documento como fertilizante orgánico fermentado (FOF), posee un uso ampliamente difundido en Costa Rica. Esto se debe en parte a que las excretas animales constituyen una porción importante de los desechos de la agroindustria. Por lo tanto, los agricultores las utilizan para elaborar estos abonos, tanto con el fin de usarlos en la propia finca como con fines comerciales. Así, el agricultor recicla los desechos producidos en la finca, con lo cual hace uso de sus propios recursos y evita incurrir en gastos con la compra de fertilizantes sintéticos.

El método de preparación de los FOF es propio de cada agricultor, según sus posibilidades y las necesidades de sus cultivos (Uribe *et al.* 2004). Los agricultores elaboran una gran variedad de FOF, desde algunos relativamente sencillos hasta aquellos más complejos, enriquecidos con minerales, cenizas y harinas complementarias (Restrepo 2001). Estos fertilizantes, en ocasiones, resultan poco estables y de baja calidad si se comparan con los fertilizantes elaborados comercialmente. Por lo tanto, si bien el agricultor considera que el uso de esta clase de abonos le ayuda a acceder a un mercado en el cual sus productos reciben

precios más elevados, la posible baja calidad, sumada a la potencial presencia de los agentes orgánicos contaminantes mencionados anteriormente, puede afectar la competitividad de sus productos agrícolas en los mercados tanto locales como regionales, nacionales e internacionales. Esto, en consecuencia, puede resultar en una disminución de sus ingresos económicos.

Al igual que los abonos orgánicos en general, los FOF pueden ser aplicados directamente vía foliar, o al suelo, preferentemente cuándo éste se encuentra cubierto (Restrepo 2001). La aplicación de un FOF sobre un suelo no representa un riesgo para los productos comestibles. Por el contrario, cuando el FOF es utilizado como fertilizante foliar, resulta sumamente difícil evitar el contacto directo del mismo con las partes comestibles de la planta. Así, dado que en Costa Rica, al igual que en otros lugares del mundo, la mayoría de los FOF son producidos artesanalmente, el problema se presenta cuando los agricultores quieren llevar sus productos (por ejemplo, tomates y papas) a mercados externos bajo el sello de orgánico, ya que requieren cumplir con la normativa existente, tanto nacional como internacional, relacionada con la producción orgánica.

Quienes importan productos orgánicos, tales como la Unión Europea y USA, establecen sus propias normas de certificación, que regulan en forma estricta los tipos de fertilizantes que pueden ser utilizados en la agricultura orgánica, a fin de prevenir riesgos sanitarios (Soto 2003). En Costa Rica también existe legislación sobre los procedimientos a seguir en la elaboración de los fertilizantes orgánicos para asegurar, entre otras cosas, la eliminación de microorganismos patógenos y la desodorización del material (Eco-LÓGICA 2001).

Costa Rica posee ventajas comparativas y competitivas que han favorecido la implementación y el desarrollo de un programa de agricultura orgánica tropical. Así, exporta sus productos orgánicos tomando ventaja de la presencia de mercados atractivos, como los de la Unión Europea, USA y Japón (García 1996). Sin embargo, la utilización de fertilizantes orgánicos de aplicación foliar y en particular FOF, se encuentra restringida en las normativas de esos países. Como consecuencia, surge claramente la necesidad de estudiar los procesos artesanales de producción de los FOF en Costa Rica, para de esta manera identificar los riesgos más importantes que desmeritan su calidad nutricional e inocuidad.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

- Realizar un diagnóstico de la producción de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF) elaborados por los pequeños agricultores de las zonas de Turrialba, Zarcero y Pérez Zeledón, en Costa Rica e identificar los factores que determinan su calidad.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el proceso de elaboración de los FOF producidos en Costa Rica, para identificar los principales factores considerados en su elaboración.
- Analizar la calidad nutricional y la inocuidad de los FOF de diferentes agricultores y su correlación con factores del proceso de elaboración.
- Evaluar diferentes ingredientes utilizados para la elaboración de los FOF y su impacto sobre la calidad.

1.2 Hipótesis del estudio

El control de los factores del proceso de elaboración determina la calidad total del FOF.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Agricultura ecológica

La agricultura ecológica o agroecología es una rama de la agricultura integral, la cual toma en cuenta el medio ambiente y es socialmente más aceptable que la agricultura convencional. Se centra no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema (Altieri 1999). La agroecología se define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo sostenible de los agroecosistemas (Gliessman 2002).

La agricultura ecológica es un sistema de producción que se basa en la salud, fertilidad, conservación y mejoramiento del suelo; en el uso apropiado de la energía, el agua y la diversidad vegetal y animal. Además, considera la aplicación de técnicas e insumos que benefician al ambiente y contribuyen al desarrollo sostenible (Restrepo *et al.* 2001).

El objetivo de la agricultura ecológica es proporcionar un rendimiento sostenido a largo plazo utilizando técnicas ecológicas, tales como herramientas de manejo e información para reducir costos, la mejora de la eficiencia y el mantenimiento de los niveles de producción. Estos objetivos pueden ser alcanzados por medio de prácticas como la rotación de cultivos, la integración apropiada de los cultivos y la ganadería, la fijación de nitrógeno con leguminosas, el manejo integrado de plagas, la labranza de conservación y el reciclaje de los desechos de las fincas como acondicionadores de suelos y fertilizantes orgánicos (Altieri 1999, Higa y Parr s.f.).

2.1.1 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica, conocida también como agricultura alternativa, biológica, natural, o ecológica, entre otros (García 1996), es una de las varias ramas de la agroecología. Lo que distingue a la agricultura orgánica es que, reglamentada en virtud de diferentes leyes y programas de certificación, prohíbe el uso de casi todos los insumos sintéticos y obliga a la rotación de cultivos para mejorar el suelo. Una agricultura orgánica debidamente gestionada reduce o elimina la contaminación del agua y permite conservar el agua y el suelo en las granjas. Algunos países desarrollados, como por ejemplo Alemania o Francia, obligan a los

agricultores a aplicar técnicas orgánicas, o subvencionan su producción para que las utilicen, como una solución específica a los problemas de contaminación del agua (FAO 1999).

La agricultura orgánica respeta las relaciones existentes en la naturaleza; propicia la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente; contribuye a la buena salud de los agricultores y consumidores; y constituye a la vez una puerta para un nuevo modelo de desarrollo rural más justo y sostenible. La *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM) define como agricultura orgánica o ecológica 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 y, respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje, buscan optimizar la calidad de la agricultura y el medio ambiente en todos sus aspectos. La agricultura orgánica reduce considerablemente 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 economícen 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, alelospolía, trofobiosis, homeostasis, reciclaje y recuperación de nutrientes; y el mantenimiento del equilibrio poblacional de la fauna y la flora; y el equilibrio nutricional (Restrepo 2000).

Un aspecto fundamental de la agricultura orgánica a tener en cuenta es que la misma no representa simplemente un sistema preestablecido en el que se puede aplicar el mismo modelo en todos los lugares. Por el contrario, es necesario analizar en cada caso la manera de tener mayor productividad, cuidando al medio ambiente y haciendo buen uso de los recursos, pero al mismo tiempo aprovechando al máximo los mecanismos naturales en beneficio propio (Benzing 2001).

2.2 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son todos aquellos materiales derivados de organismos vivos que se utilizan como fertilizantes. Estos derivados de organismos vivos están compuestos por residuos orgánicos vegetales y animales; y constituyen la denominada materia orgánica (MO), la cual es indispensable para el mantenimiento de la vida en el suelo. La bioestructura y productividad del suelo se basan en la presencia de MO en descomposición o humificada (Primavesi 1984, Hernández 1997).

De acuerdo a Soto (2003), en base a la fuente de nutrimentos, los abonos orgánicos pueden dividirse en dos tipos:

- I) Biofertilizantes: el aporte de nutrientes es el resultado de la actividad de microorganismos, tales como bacterias u hongos (ejemplo, *Rhizobium*, micorrizas, *Azotobacter*, *Bacillus*).
- II) Materia orgánica *per se* (= abonos orgánicos fermentados, = biopreparados = biofertilizantes, según Restrepo 2001): la fuente de nutrientes es la misma MO. En el presente estudio, a esta categoría se la denominará con el nombre “abonos orgánicos fermentados”. Estos, a su vez, se clasifican de la siguiente manera:
 - 1) sin procesar:
 - excretas animales
 - desechos vegetales
 - abonos verdes
 - 2) procesados:
 - a) sólidos
 - compost
 - bocashi
 - lombricompost
 - ácidos húmicos
 - b) líquidos
 - fertilizante orgánico fermentado (FOF) (= biofermento, según Soto 2003, Uribe 2003)
 - té de compost
 - ácidos húmicos
 - extractos de algas
 - té de estiércol

2.2.1 Abonos orgánicos fermentados líquidos

Los abonos orgánicos fermentados líquidos se originan a partir de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércol de animales, desechos de plantas verdes y frutos (Restrepo 2001). La fermentación es la degradación anaeróbica de los compuestos orgánicos realizada por las enzimas de ciertos microorganismos, especialmente bacterias y protistas, llamados fermentos. En consecuencia, la fermentación es un proceso de liberación de energía en ausencia de oxígeno (Starr 1997). 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 abonos orgánicos 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).

Estos abonos habitualmente se aplican directamente sobre los cultivos vía foliar, aunque también pueden ser aplicados al suelo, preferentemente cuando estén con coberturas, o sobre aboneras (Restrepo 2001). Molina (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 radicular, ya que dosis tan bajas dificultan su aplicación de manera uniforme.

Estos fertilizantes 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.

Además de cumplir una función importante como fertilizantes, los abonos orgánicos fermentados líquidos han sido utilizados con éxito para el combate de enfermedades aéreas en varios cultivos (Arauz 2003). La forma propuesta de acción de estos abonos es la siguiente: los microorganismos antagonistas o benéficos cubren las superficies de las hojas, previniendo el acceso de patógenos por medio de resistencia inducida, producción de antibióticos, parasitando patógenos o por competencia (Scheuerell y Mahafee 2002, citado en Arauz 2003). Y, en general, se ha encontrado que los abonos líquidos derivados de estiércol son más eficaces para el combate de enfermedades foliares que los derivados de residuos vegetales (Arauz 2003).

2.2.2 Fertilizantes orgánicos fermentados (FOF)

Los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF) son fertilizantes fundamentalmente de aplicación foliar. Sin embargo, en muchas ocasiones suelen también ser aplicados directamente sobre el suelo o incorporados en las aboneras, utilizando en estos casos concentraciones más elevadas. Las características principales que determinan la buena calidad de un FOF son 1) alto valor nutritivo, 2) carencia de microorganismos patógenos, o sea su inocuidad y 3) concentración baja para poder así ser tolerado por las plantas y que no cause un efecto fitotóxico al follaje. Estos fertilizantes se utilizan en varios cultivos, como hortalizas, plantas ornamentales, cítricos, mango, piña, banano y café, entre otros (Molina 2002, Salas 2002b).

Los tres ingredientes básicos que se encuentran en todo FOF 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 (aunque no tanto como la gallinaza), 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 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).

2.2.2.1 Preparación de los FOF

Básicamente, los materiales comúnmente utilizados en la preparación de los FOF simples son: un barril de 200 litros con una tapa, cubetas plásticas de 20 litros de capacidad, un colador y un palo para mover la mezcla. La tapa del barril debe sellar bien para evitar la entrada de aire. Además, dicha tapa debe poseer una válvula 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).

Existen tal vez casi tantas recetas de FOF como agricultores que los preparan. Ellos elaboran estos fertilizantes a partir de muchos materiales que se encuentran en sus propias fincas, con variaciones que van desde preparados muy sencillos hasta los más complejos, enriquecidos con minerales, cenizas y harinas complementarias. A continuación se presenta una receta básica mencionada en diferentes publicaciones (Restrepo 2001, Pacheco 2003, IICA s.f.) que ilustra los tipos de ingredientes más comúnmente utilizados y la forma de preparación.

Ingredientes Principales

- 50 kilogramos de estiércol fresco de bovino (boñiga)
- 2 litros de leche cruda ó 4 litros de suero
- 2–6 litros de melaza ó 4–10 litros de jugo de caña
- 180 litros de agua no contaminada como ingrediente excipiente

Ingredientes Opcionales

Para enriquecer los FOF pueden utilizarse otros ingredientes opcionales, como sales minerales y algunas harinas de roca. Además, se pueden agregar microorganismos para acelerar el proceso de fermentación (Restrepo 2001, Pacheco 2003).

Procedimiento

Se mezcla la boñiga con unos 100 litros de agua en el barril y se revuelve hasta lograr una mezcla homogénea. Se diluye muy bien la melaza en una cubeta y se agrega en el barril mientras se agita constantemente. Se añade la leche o el suero de leche. Luego se completa el barril con agua hasta alcanzar un volumen total de 180 litros, dejando un espacio libre para la creación de gases y para revolver. Se cubre bien la boca del barril y se coloca la válvula de escape de gases para que dé inicio la fermentación anaeróbica. Se deja reposar el preparado a temperatura ambiente y bajo techo, protegido del sol y la lluvia. El tiempo de reposo puede variar de 2 semanas a aproximadamente 40 días, dependiendo del agricultor. Un método que aplican algunos agricultores es el de destapar diariamente el barril a partir del décimo día, para revisar la calidad del preparado, revolviendo durante 5 minutos con un palo de madera. Por el contrario, otros agricultores prefieren dejar reposar el preparado hasta que termine su fermentación, siendo señal de que el mismo ya está listo el hecho de que ha dejado de producir gases (Restrepo 2001, Pacheco 2003).

2.2.2.2 Aplicación de los FOF

En el caso de la aplicación a follaje, existen diferentes instrumentos/maquinarias para la aplicación de los FOF: equipos de espalda, equipos estacionarios y equipos tractorizados (Viquez 2002). Habitualmente, los pequeños agricultores de Costa Rica utilizan más frecuente la bomba de aspersión de espalda, aplicando el fertilizante hasta que el follaje quede mojado por completo. Hay datos sobre la dosis y la frecuencia de la aplicación de los FOF, que recomiendan una dosis de entre 2 % a 50 %, dependiendo de la forma de preparación y del sustrato sobre el que se lo aplicará (follaje, suelo o abonera). Generalmente, si está preparando con algunas sales minerales, se aplica con dosis del 2 % al 10 %, con una frecuencia de cada 7 a 10 días (Restrepo 2001, Pacheco 2003).

Importancia del agua

En la aplicación de un fertilizante foliar el agua tiene una importancia fundamental, ya que requiere del cálculo adecuado de las cantidades del producto que serán mezcladas con la misma de acuerdo con la dosis sugerida del nutrimento. Este proceso requiere de gran cuidado, porque un cálculo equivocado podría causar una sobre dosificación del fertilizante y,

como éste es aplicado directamente al follaje, el riesgo de provocar una fitotoxicidad es mayor (Molina 2002).

2.2.2.3 Inocuidad y microbiología de los FOF

La inocuidad se define como el atributo de un objeto o sustancia de no causar daño, de no producir efectos negativos sobre la salud humana (Soto y Meléndez 2004). Los principales riesgos de los FOF son la presencia de microorganismos patógenos (*Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Shigella*, etc.) y el contenido de metales pesados (cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, arsénico, selenio, zinc, etc.). Los límites máximos de poblaciones de coliformes fecales para compost según los criterios de la *Environmental Protection Agency* (EPA) son: *Escherichia coli* y *Shigella* < 1,000 NMP/g; y *Salmonella sp.* < 3 NMP/g en abonos de biosólidos (EPA, citado por Soto y Meléndez 2004).

2.2.2.3.1 Coliformes

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común, e importancia relevante como indicadores de la contaminación del agua y los alimentos. El grupo coliforme agrupa a todas las bacterias entéricas que se caracterizan por tener las siguientes propiedades bioquímicas: 1) ser aerobias o anaerobias facultativas; 2) ser Gram negativas; 3) no ser esporógenas y 4) fermentar la lactosa a 35 °C en 48 horas. Este tipo de bacterias se encuentra principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, aunque también están ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Por su amplia diversidad el grupo coliformes ha sido dividido en dos grupos: coliformes fecales y coliformes totales. En la higiene de alimentos los coliformes no se consideran indicadores de contaminación fecal sino solamente indicadores de calidad. Los coliformes totales se usan para evaluar la calidad de la leche pasteurizada, leche en polvo, helados, pastas frescas, fideos y cereales para el desayuno. Los coliformes fecales se usan para evaluar los mariscos frescos (Yamanaka 2001).

2.2.2.3.1.1 Coliformes fecales

Se definen como coliformes fecales a aquellas bacterias que fermentan la lactosa a 44,5–45,5 °C. Aplicando este criterio, crecerán en el medio de cultivo principalmente

Escherichia coli (90 %) y algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter*. La prueba de coliformes fecales positiva indica un 90 % de probabilidad de que el coliforme aislado sea *E. coli*. Tradicionalmente los coliformes han sido considerados como indicadores de contaminación fecal en los análisis de control de calidad del agua destinada al consumo humano, considerándose su número proporcional al grado de contaminación fecal (Yamanaka 2001).

2.2.2.3.1.2 Escherichia coli

El aislamiento de esta bacteria en el agua da un grado de certeza de contaminación de origen fecal de alrededor del 99 %. Sin embargo, el aislamiento de este microorganismo no permite distinguir si la contaminación proviene de excretas de origen humano o animal. Este es un aspecto importante a tener en cuenta, puesto que la contaminación que habitualmente se desea controlar es fundamentalmente la de origen humano, aunque ello no significa menospreciar la de origen animal, especialmente cuando existe riesgo de que ocurra una zoonosis (Yamanaka 2001).

El Centro de Lucha contra Enfermedades de los Estados Unidos indica que la principal fuente de infección humana con *Escherichia coli* proviene de las heces de los rumiantes y/o la carne contaminada durante el sacrificio. Cepas virulentas de *E. coli*, como por ejemplo *E. coli* O157:H7, se desarrollan en el aparato digestivo de los vacunos que se alimentan principalmente con cereales feculentos (FDA 1998, FAO 2000). Algunos estudios, por ejemplo Kudva *et al.* (1998) y Redlinger *et al.* (2001), han analizado la permanencia de *Escherichia coli* en el estiércol, para determinar la posibilidad de que por este medio se transmita la bacteria. En el primer estudio, se encontró que en una pila de estiércol de una oveja inoculada experimentalmente, incubada en el exterior bajo condiciones ambientales fluctuantes, *E. coli* sobrevivió durante 21 meses. Las concentraciones de la bacteria encontradas estuvieron en el rango de $<10^2$ a 10^6 CFU/g en diferentes puntos durante el experimento. Otra pila de estiércol que fue periódicamente aireada y removida dio positivo para *E. coli* por 4 meses. También se probó bajo condiciones de laboratorio y se observó que esta bacteria sobrevive mejor en estiércol incubado sin airear a temperaturas inferiores a 23 °C. Sin embargo, la bacteria sobrevivió por lo menos 100 días en estiércol bovino congelado a -20 °C y el mismo tiempo en estiércol ovino congelado a 4-10 °C (Kudva *et al.*

1998). En otro estudio, se encontró que la desecación es mejor que la biodegradación como mecanismo para la reducción de los coliformes fecales en *dry compost toilets*. Esta conclusión fue alcanzada por el hecho que las muestras más secas tenían un contenido de coliformes similar al del Compuesto Clase A (compuesto orgánico que puede ser distribuido o vendido al público según normas de la EPA.) Se observó también que la exposición al sol resultó crítica para la obtención de un producto final biosólido tipo Clase A de mejor calidad (Redlinger *et al.* 2001).

2.2.2.3.2 Salmonella

Los microorganismos del género *Salmonella* son bacilos Gram-negativos, flagelados, sin cápsula y aeróbicos o anaeróbicos facultativos (Razquin 2000, Rubin y Weinstein 1977). Estas bacterias son poco resistentes a las condiciones ambientales, en especial a la luz solar intensa, la desecación, las concentraciones elevadas de sal y las altas temperaturas (VDH s.f.). Sin embargo, son tal vez uno de los patógenos con más amplia distribución en el mundo, que afectan no sólo a los seres humanos y sus animales domésticos, sino también a reptiles, mamíferos silvestres, aves y aún a insectos (Rubin y Weinstein 1977). Estas bacterias fermentan la glucosa, produciendo ácido y gas (Razquin 2000). Su temperatura óptima de crecimiento es entre los 35 °C a 37 °C, con un mínimo 7 °C y un máximo de 45 °C, mientras que su rango de pH va desde los 3,8 a 9,5, siendo el óptimo entre 7 y 7,5 (Razquin 2000; ESR 2001). Además, sobreviven alrededor de 200 días sobre ciertos alimentos, como chocolate y galletas, más de 90 días en el hielo y hasta 4 días en mariscos a una temperatura de 10 °C a 13 °C (ESR 2001). Las salmonelas se encuentran en nuestra cadena alimenticia y el medio ambiente, son causantes de la salmonelosis, que es la infección bacteriana más común de origen alimentario (Razquin 2000). Se contagia a través del consumo de alimentos o agua contaminados y por el contacto con personas o animales infectados. Estas bacterias suelen contaminar huevos, carnes crudas y productos lácteos no pasteurizados. Otras fuentes de exposición pueden incluir el contacto con mascotas infectadas, como tortugas, perros y gatos (REG 2003). Parece ser que las salmonelas presentes en los alimentos pueden alcanzar cifras importantes sin producir alteraciones detectables de su aspecto, de su olor e incluso de su sabor, por lo que su identificación es muy difícil (Razquin 2000). Por esta razón, la legislación alimentaria en todo el mundo es sumamente estricta con respecto a la presencia de estas bacterias en los productos para consumo humano. En el caso de los abonos orgánicos también

existe legislación al respecto. Por ejemplo, los contenidos de *Salmonella* permitidos según los criterios de la EPA de Estados Unidos permiten una población que sea menor a 3 NMP/g (Soto y Meléndez 2004).

2.2.2.4 Fitotoxicidad de los FOF

Todo elemento o sustancia que detiene el desarrollo o crecimiento de las plantas se dice que es fitotóxico. Todos los fertilizantes comerciales deben, obligatoriamente, recibir una prueba de germinación para determinar su fitotoxicidad. Generalmente, dependiendo de la maduración de fertilizante, se observan diferencias en la fitotoxicidad que resultan en distintas tasas de germinación. Como regla general se puede decir que con la madurez disminuye la fitotoxicidad y por lo tanto aumenta la germinación (NLBC s.f.).

2.3 Regulaciones para la producción orgánica

Según Schmidt y Haccius (1998) y Rodríguez y Soto (1999), en la actualidad el nivel estándar básico mundial de calidad en alimentos orgánicos es el resultado de una opinión profesional consensuada dentro de la *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM, sigla en inglés). Este estándar básico comenzó a desarrollarse a partir de la formación de la IFOAM a principios de los años 1970; y ha servido como guía, por ejemplo, para la elaboración de las reglamentaciones y leyes sobre agricultura orgánica y cultivo de productos orgánicos tanto en países de Europa como en Estados Unidos. Por lo tanto, se observa una clara convergencia a nivel mundial en las reglas que rigen la producción orgánica y la certificación de productos orgánicos. Esto representa una ventaja para quienes deseen comercializar sus productos orgánicos ya que si, por ejemplo, son alcanzados los requerimientos para comercializar en el Mercado Orgánico de Alimentos de la Unión Europea, es altamente probable que se alcancen al mismo tiempo los estándares de certificación de otros países.

2.3.1 Unión Europea

La legislación de los países Europeos incluye fuertes restricciones para el uso de excretas frescas. Así, por ejemplo, las excretas de animales totalmente estabulados no pueden

ser utilizadas en la agricultura orgánica, sin importar si las mismas han sido procesadas o no (Soto 2003).

2.3.2 National Organic Program (NOP), USA

El *Programa Nacional Orgánico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos* (NOP, sigla en inglés) establece una serie de requisitos que deben ser cumplidos por los agricultores para que sus productos orgánicos puedan ser exportados a USA. Dichos requisitos imponen el tratamiento de los materiales de origen vegetal y animal para mantener o mejorar el contenido del material orgánico del suelo y evitar que organismos patógenos y residuos de sustancias prohibidas contribuyan a la contaminación de los cultivos el suelo o el agua.

En cuanto a los materiales de origen vegetal y animal, a continuación se detallan las normas estipuladas por el NOP.

Estiércol fresco de animal. Se deberá convertir en abono a menos que:

- Se aplique en el terreno que se utilizó para un cultivo que no sea destinado al consumo humano.
- Se incorpore dentro del suelo por lo menos 120 días antes de cosechar un producto cuya parte comestible tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo.
- Se incorpore dentro del suelo por lo menos 90 días antes de cosechar un producto cuya parte comestible no tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo.

Materiales de origen vegetal y animal compostados. Deben ser producidos por medio de un proceso que:

- Mantuvo una temperatura entre 55 °C (131 °F) y 75 °C (170 °F) durante 3 días usando un sistema ya sea de montón o aireación estática o dentro de un contenedor.
- Mantuvo una temperatura entre 55 °C (131 °F) y 75 °C (170 °F) durante 3 días utilizando un sistema de hilera para conversión en abono, durante cuyo período, las materias se debían girar cinco veces como mínimo.

2.3.3 Costa Rica

En Costa Rica también existe legislación sobre los procedimientos que deben seguirse en la elaboración de los fertilizantes orgánicos. Por ejemplo, para obtener una certificación de producción orgánica por parte de la certificadora Eco-LÓGICA, deben cumplirse una serie de requisitos referentes al manejo de las sustancias que representan un riesgo de contaminación. En el caso del estiércol, este debe almacenarse de manera tal que se minimice el lixiviado de nutrimentos, por lo que debe estar sobre el piso y siempre cubierto. Además, debe pasar por un proceso de compostado de tres meses de duración que permita la estabilización de los nutrimentos, la muerte de los microorganismos patógenos y la desodorización del material. En este proceso la temperatura debe elevarse por lo menos hasta 55°C por un periodo mínimo de 3 días. En cuanto al estiércol fresco, sólo puede utilizarse en cultivos que no van a ser destinados al consumo humano y debe aplicarse al suelo 120 días antes de la cosecha de un cultivo cuya parte comestible está en contacto directo con el suelo (Eco-LÓGICA 2001).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio consta de dos fases. La Fase 1 es un diagnóstico de la calidad de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF) que se elaboran en áreas de producción orgánica en Costa Rica. La Fase 2 es un análisis y evaluación de los factores que afectan la calidad de los FOF.

3.1 FASE 1. Diagnóstico de la calidad de FOF producidos en Costa Rica

3.1.1 Localización

El diagnóstico se realizó con un total de nueve agricultores en tres regiones de Costa Rica, Turrialba, Zarcero y Pérez Zeledón (Figura 1). Turrialba está situada a 602 msnm y 9°55'21'' de latitud norte y 83°39'40'' de longitud oeste, presenta una precipitación promedio anual de 2690 mm, una humedad relativa de 88 % y una temperatura promedio anual de 22,8 °C (máxima 27,5 °C y mínima 18,1 °C). La zona de Zarcero está situada a 1671 msnm, 9°55'21'' de latitud norte y 83°39'40'' de longitud oeste, tiene una precipitación promedio anual de 1899 mm, una humedad relativa de 79 % y una temperatura promedio anual de 17,1 °C (máxima 20,4 °C y mínima 13,9 °C). Y finalmente, la zona de Pérez Zeledón está situada a 550 msnm, 9°17'58'' de latitud norte y 83°39'16'' de longitud oeste, posee una precipitación promedio anual de 2,649 mm, una humedad relativa de 85 % y una temperatura promedio anual de 23 °C (máxima 28,5 °C y mínima 17,6 °C). Los datos de precipitación, humedad relativa y temperatura fueron provistos por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica en enero de 2006.

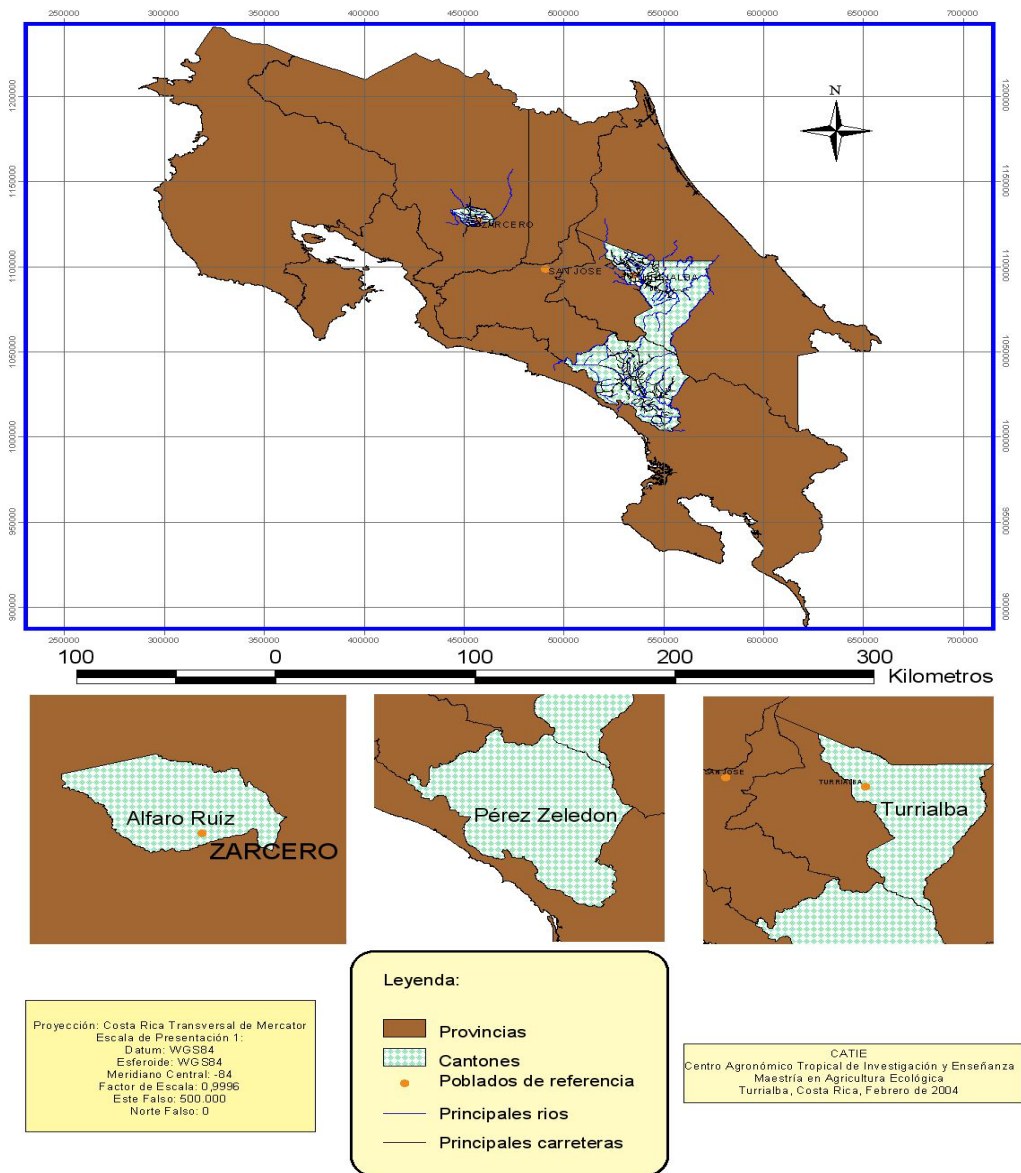


Figura 1. Localización de las áreas incluidas en el estudio

3.1.2 Encuesta y muestreo

3.1.2.1 Encuesta

En la encuesta participaron nueve agricultores orgánicos (tres de cada una de las regiones) que facilitaron la información y las muestras. El objetivo de esta encuesta fue determinar los métodos utilizados por los agricultores para elaborar sus fertilizantes, con el fin de realizar un diagnóstico sobre los factores que afectan la calidad nutricional de los FOF y la relación de dichos factores con su inocuidad. La encuesta incluyó preguntas sobre los

siguientes tópicos: 1) tipo y cantidad de los ingredientes (materias primas y opcionales) utilizados para elaborar los fertilizantes; 2) lugar donde elaboran los fertilizantes; 3) materiales, proceso de elaboración, factores críticos de labores y tiempo; 4) forma de almacenamiento y vida útil; 5) forma de aplicación y dosis de uso; 6) efecto del fertilizante; 7) costo de los materiales y 8) errores experimentados (Anexo 1). Se muestrearon en total 12 fertilizantes; de seis agricultores se realizó un muestreo por agricultor y de los tres agricultores restantes (elegidos al azar de entre cinco agricultores que elaboraron más de un FOF con el agregado de diferentes ingredientes) se realizaron dos muestreos por agricultor. Cada muestreo incluyó la toma de una muestra para análisis de inocuidad, una muestra para análisis de nutrientes y una muestra para pruebas de germinación y ensayos de invernadero.

Cada fertilizante fue denominado con una sigla. Dicha sigla está compuesta por letras en mayúscula que representan las tres materias primas principales del fertilizante, cada una acompañada por un subíndice que representa la cantidad en kilogramos o litros de dicha materia prima agregada al fertilizante. Por lo tanto, “E” representa estiércol, “M” representa melaza, “S” representa suero de leche, “Lc” representa lombricompost y “L” representa leche cruda. Cuando hubo dos o más fertilizantes con la misma cantidad de materias primas, se diferenciaron usando las letras del alfabeto “a” y “b” (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ejemplo de cuadro de cantidad de ingredientes principales con denominación por sigla.

Sigla	Ingredientes Principales (unidad)				
	Estiércol (kg)	Lombricompost (kg)	Melaza (L)	Suero (L)	Leche (L)
<i>E₄₀M₁₁L₂₂</i>	40	0	11	0	22
<i>E₂₀M₁₀S₁₈₀</i>	20	0	10	180	0
<i>Lc₂₀M₁₀S₁₈₀</i>	0	20	10	180	0
<i>E₁₅M₅S₁₅₀ a</i>	15	0	5	150	0
<i>E₁₅M₅S₁₅₀ b</i>	15	0	5	150	0

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda

3.1.2.2 Muestras para análisis químico

Para el análisis químico cada muestra se tomó utilizando una botella plástica de 250 ml que se mantuvo en una hielera mientras estaba en transporte. El análisis se realizó en el laboratorio de Suelos y Aguas del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

3.1.2.3 Muestras para análisis microbiológico

Para el análisis microbiológico cada muestra se tomó utilizando una bolsa esterilizada de 150 ml. Las muestras se llevaron al laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UCR) en una hielera; todas las muestras fueron entregadas en el laboratorio el mismo día de su recolección.

3.1.2.4 Muestras para pruebas de germinación y ensayos de invernadero

Para pruebas de invernadero cada muestra se tomó utilizando una botella plástica de 1 litro. Las muestras se guardaron en refrigeradora hasta su utilización.

3.1.3 Análisis químico y evaluación de nutrimentos

El análisis químico se realizó en el laboratorio del CATIE. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se midieron directamente de la muestra. La determinación de Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn, Fe y P se realizó mediante el método de digestión total con mezcla nítrico-perclórica. El Cu, Zn, Mn, Fe, Ca, Mg, K se determinaron por Absorción Atómica. El P se analizó por el método colorimétrico del extracto de digestión nítrico-perclórico. El N se determinó por el método semimicro Kjeldahl. La determinación de Carbono Orgánico (CO) se realizó por el método de Nelson y Sommers.

3.1.4 Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad

El análisis de inocuidad se realizó en el laboratorio de Microbiología Agrícola del CIA de la UCR, para determinar la presencia de coliformes totales, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* y *Lactobacillus sp.* La metodología utilizada para el análisis de todos los microorganismos fue la “CIA-SC09-03-P02: determinación de Coliformes totales y *E. coli* en aguas” (*Standard Methods for the examination of water and wastewater* 1998).

3.1.5 Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación)

Se determinó la fitotoxicidad de los FOF utilizando una prueba de germinación. Esta prueba se realizó en el laboratorio del Banco de Semillas Forestales (BSF) del CATIE. Se preparó una caja plástica con papel toalla mojado con 30 ml de una solución de FOF al 10 % y otra con una solución al 2,5 %. También se preparó un testigo con agua esterilizada y otro con

una solución del fertilizante orgánico comercial *ECO-HUM DX* (Universidad EARTH) con una dosis del 0,5 % (siguiendo las recomendaciones indicadas en la etiqueta.) Posteriormente se colocaron 50 semillas de repollo, *Brassica oleracea* L. var. capitata, en cada una. Las semillas se pusieron en un cuarto de germinación a una temperatura de 30 °C y 80 % de humedad relativa, con luz las 24 horas y se dejaron durante 10 días. Se comparó la tasa de germinación entre las semillas que recibieron sólo agua, las que recibieron *ECO-HUM DX* y las que recibieron los FOF. El análisis se realizó mediante la técnica de ANOVA, para detectar diferencias entre medias se usó la prueba de Fisher, trabajando en ambos casos con un nivel de significancia del 5 %.

3.1.6 Pruebas de invernadero

Mediante dos ensayos en invernadero se evaluaron dos variables de crecimiento (altura y número de hojas) en plántulas de tomate, para determinar la calidad nutricional de los FOF. El Ensayo 1 se realizó en junio del 2005 y se tomaron mediciones cada semana durante tres semanas (Semana 0 [día 0], Semana 1 [día 7], Semana 2 [día 14], Semana 3 [día 21]). El Ensayo 2 se realizó en agosto del mismo año y se tomaron mediciones cada semana durante cuatro semanas (Semana 0 [día 0], Semana 1 [día 7], Semana 2 [día 14], Semana 3 [día 21], Semana 4 [día 28]). Como sustrato se utilizó una mezcla de suelo con compost producido en el ingenio azucarero Juan Viñas; en una proporción de 20 % para el Ensayo 1 y 5 % para el Ensayo 2, esto para observar si las diferencias en el crecimiento son resultado de la cantidad de compost utilizado.

Las plántulas de tomate fueron de la especie *Lycopersicon esculentum* Mill., variedad Hyslip. La elección del tomate estuvo dada por el hecho de que según las investigaciones publicadas por algunos autores (por ejemplo Segura 2002), la presencia de pelos y pubescencias superficiales en la planta permite el incremento de la absorción de solutos. Esto sugirió, por lo tanto, que el uso de plántulas de tomate brindaría una mayor certeza de lograr los resultados esperados. Además, se eligieron para este estudio plantas jóvenes, debido a que las mismas presentan una proporción mayor de hojas jóvenes. Si bien Salas (2002b) menciona que algunas estimaciones parecerían indicar que la eficiencia de la fertilización foliar durante las etapas iniciales de un cultivo es reducida debido a que sólo el 10 al 30 % de las soluciones aplicadas quedan en el follaje, en otro trabajo el mismo autor muestra que la capacidad de

absorción de una hoja disminuye con su envejecimiento debido a una disminución en la actividad metabólica; y a que la exposición a la radiación solar y las tensiones provocadas por la deshidratación tienen como consecuencia una reducción de su permeabilidad (Segura 2002).

Las semillas fueron provistas por el Laboratorio de Fitopatología del CATIE. Las mismas se sembraron en almácigo en invernadero y se transplantaron a macetas plásticas de 2 kg a los 40 días, colocando una plántula por maceta. Se realizaron 26 tratamientos por ensayo. Esto es, de cada una de las 12 muestras que se tomaron de los FOF elaborados por los agricultores, se evaluaron dos dosis, cada uno con un nivel distinto de concentración del FOF: 2,5 % y 10 %. Se contó también con dos testigos, uno al que se le aplicó solamente agua y otro al que le aplicó fertilizante orgánico comercial *ECO-HUM DX*. En este último caso, el fertilizante se aplicó en una concentración de 0,5 %, según la recomendación indicada en la etiqueta. Tanto los fertilizantes como el agua se aplicaron por medio de aspersión y hasta que las plántulas estuvieran completamente mojadas. La aplicación se realizó después de las 4 de la tarde.

Se prepararon 130 macetas para cada uno de los ensayos. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones bajo un diseño completamente aleatorizado. Las aplicaciones de los FOF se hicieron una vez por semana durante cuatro semanas. La primera aplicación se realizó tres días después del transplante. Las variables número de hojas y altura de la planta fueron analizadas teniendo en cuenta el factor tiempo y los tratamientos, usando un ANOVA para un diseño en parcelas divididas, repetido en un diseño completamente aleatorizado. También, se realizó un ANOVA para cada uno de los tiempos.

El modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + R(F)_{i(j)} + T_k + FT_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta en el tratamiento i , repetición j y tiempo k

μ es la media general

F_i es el efecto del i -ésimo tratamiento

$R(F)_{i(j)}$ es el termino de error para los tratamientos supuestamente distribuido normal con media cero y varianza σ^2

T_k es el efecto del k-ésimo tiempo

FT_{ik} es la interacción tiempo por tratamiento

ε_{ijk} es el termino de error aleatorio supuestamente distribuido normal con media cero y varianza σ^2 .

3.2 FASE 2. Análisis y evaluación de los factores que afectan la calidad de los FOF elaborados en laboratorio

3.2.1 Elementos que afectan la calidad de los FOF

Para determinar los elementos que afectan la calidad de los FOF, sobre la base de los datos obtenidos en la encuesta a los agricultores, en la Fase I de este estudio, se realizó un análisis de los diferentes procesos de elaboración de dichos fertilizantes y se identificaron aquellos elementos que se pensó podrían generar un mayor riesgo para su pérdida de inocuidad. De estos elementos, se seleccionaron los tres más importantes (estiércol, melaza y suero de leche) y se montaron 12 experimentos de laboratorio, con dos repeticiones por cada experimento. Las técnicas utilizadas para la determinación de los factores de mayor importancia para la calidad de los FOF fueron análisis de componentes principales y análisis de conglomerados.

Cada fertilizante experimental fue denominado con una sigla. Dicha sigla esta compuesta por letras en mayúscula que representan las tres materias primas del fertilizante, cada una acompañada por un subíndice que representa la cantidad en gramos o mililitros de dicha materia prima agregada al fertilizante. Por lo tanto, la “E” representa estiércol, el cual puede ir acompañado de los valores 0, 200 ó 550, la “M” representa melaza, puede ir acompañada de los valores 40 ó 250, la “S” representa suero de leche, estando acompañada de 0 L [sin] ó agregando aproximadamente de 1,5 a 2 L [con] hasta completar la cantidad de líquido necesario (cerca del 90 % de la capacidad de la botella, dejando un poco de espacio). Cuando se usó suero no se agregó agua de ningun otra manera, cuando no se usó suero se

llenaron las botellas con agua. A estos fertilizantes siempre se los indica en cursivas, para distinguirlos de aquellos de la Fase 1 (Cuadro 2).

Cuadro 2. FOF preparados en laboratorio, indicando ingredientes principales y cantidad en gramos y mililitros (dos repeticiones para cada fertilizante).

Sigla	Ingredientes Principales		
	Estiércol (g)	Melaza (ml)	Suero
<i>E₀M₄₀S₀</i>	0	40	sin
<i>E₀M₄₀S₁</i>	0	40	con
<i>E₀M₂₅₀S₀</i>	0	250	sin
<i>E₀M₂₅₀S₁</i>	0	250	con
<i>E₂₀₀M₄₀S₀</i>	200	40	sin
<i>E₂₀₀M₄₀S₁</i>	200	40	con
<i>E₂₀₀M₂₅₀S₀</i>	200	250	sin
<i>E₂₀₀M₂₅₀S₁</i>	200	250	con
<i>E₅₅₀M₄₀S₀</i>	550	40	sin
<i>E₅₅₀M₄₀S₁</i>	550	40	con
<i>E₅₅₀M₂₅₀S₀</i>	550	250	sin
<i>E₅₅₀M₂₅₀S₁</i>	550	250	con

E = estiércol, M = melaza, S = suero

3.2.2 Elaboración de los FOF

Los 12 fertilizantes experimentales, con sus repeticiones, fueron preparados en botellas plásticas de 2,5 litros de capacidad, con una tapa que permitió sellar bien la botella y una manguera para que salieran los gases de la fermentación. Los ingredientes utilizados fueron estiércol, melaza y suero de leche o agua.

En el caso de los fertilizantes *E₀ M₄₀ S₀*, *E₀ M₄₀ S₁*, *E₀ M₂₅₀ S₀* y *E₀ M₂₅₀ S₁* se diluyó la melaza con el suero o el agua hasta obtener un preparado homogéneo. En los otros experimentos, se mezcló el estiércol con la mitad del suero o agua en un recipiente y en otro recipiente se diluyó la melaza con el suero o agua restante. Luego se vertieron ambas mezclas en la botella plástica, agitando constantemente, luego se sellaron cuidadosamente las botellas, con sus respectivas tapas y mangueras. Los experimentos se dejaron a temperatura ambiente y bajo techo, protegidos del sol y la lluvia. El tiempo de fermentación fue de 45 días, con una frecuencia de agitación de cada 5 días.

3.2.3 Análisis químico y evaluación de nutrimentos

Se tomaron muestras de los FOF. Se determinaron los niveles de pH y nitrógeno a los 15, 30 y 45 días del proceso; y los niveles de fósforo, potasio, magnesio y calcio del producto

final (45 días) para evaluar calidad nutricional y total. Dichos análisis se realizaron en el laboratorio de la Compañía Costarricense del Café S.A. (CAFESA). Para el análisis de nitrato se siguió la metodología “*QuickChem Method 10-107-04-1-D: Determination of Nitrate/Nitrite by Flow Injection Analysis*” (Sechtig 2001); y para el análisis de amonio se siguió la metodología “*QuickChem Method 10-107-06-2-J: Determination of Ammonia by Flow Injection Analysis*” (Procopcy 2001). Para las dos primeras fechas el análisis del contenido de N-NH₄, N-NO₃ y pH se realizó mediante un ANOVA; para la tercera fecha se analizaron además fósforo, potasio, calcio y magnesio.

3.2.4 Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad

El análisis de inocuidad de los FOF se realizó en el laboratorio de Microbiología Agrícola del CIA en la UCR, para determinar la presencia coliformes totales, *Escherichia coli* y *Lactobacillus sp.* La metodología utilizada fue la misma que se menciona en el apartado 3.1.4.

3.2.5 Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación)

Para evaluar la fitotoxicidad de los FOF preparados en el laboratorio del BFS del CATIE se realizó una prueba de germinación siguiendo la metodología mencionada en el apartado 3.1.5. El análisis se realizó mediante la técnica de ANOVA y para detectar diferencias entre medias se usó la prueba de Fisher, trabajando en ambos casos con un nivel de significancia del 5 %. La variable porcentaje de germinación fue transformada utilizando la función raíz cuadrada para verificar si ésta mejoraba el comportamiento distribucional de la variable.

3.2.6 Prueba de invernadero

Para determinar la calidad nutricional de los FOF elaborados en el laboratorio, se montaron pruebas en invernadero utilizando plántulas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. de la variedad Hyslip. Las variables medidas fueron altura de planta y número de hojas. Al igual que en el caso de los ensayos de la Fase 1, las semillas fueron provistas por el Laboratorio de Fitopatología del CATIE, se sembraron en almácigo en invernadero y se transplantaron a macetas plásticas a los 40 días, colocando una plántula por maceta. El suelo

de las macetas recibió el agregado del 5 % de compost producido en el ingenio azucarero Juan Viñas. El número de tratamientos realizado fue de 26. Esto es, los 12 FOF preparados se aplicaron a las plántulas utilizando dos niveles de concentración: 10 % y 2,5 %. Además, hubo dos grupos de plántulas testigo, unas que recibieron sólo agua y otras que recibieron la aplicación del fertilizante orgánico comercial *ECO-HUM DX*. En este último caso el fertilizante se aplicó siguiendo la recomendación indicada en el envase. Tanto los fertilizantes como el agua se aplicaron por medio de aspersión y hasta que las plántulas estuvieran completamente mojadas. La aplicación se realizó después de las 4:00 p.m., dado que si bien habitualmente se recomienda aplicar los fertilizantes foliares antes de las 8:00 a.m. porque la fuerza del sol es menor (Primavesi 1984, Bourque 1994), otros autores mencionan que la absorción de nutrimentos por parte de la hoja se ve afectada por la luz. Esto es, durante el día conforme aumenta la temperatura ambiente se produce una disminución de la humedad relativa que provoca una evaporación más rápida del agua y el secado de la solución que se aplica foliarmente (Salas 2002a).

Se prepararon 130 macetas en total. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones. Las aplicaciones de los FOF se hicieron una vez por semana durante cuatro semanas. La primera aplicación se realizó aproximadamente tres días después del transplante. Las variables número de hojas y altura de la planta fueron analizadas teniendo en cuenta el factor tiempo y los tratamientos, usando un ANOVA para un diseño en parcelas divididas, repetido como completamente aleatorizado. También, se realizó un ANOVA para cada uno de los tiempos.

El modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + R(F)_{i(j)} + T_k + FT_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta en el tratamiento i , repetición j y tiempo k

μ es la media general

F_i es el efecto del i -ésimo tratamiento

$R(F)_{i(j)}$ es el término de error para los tratamientos supuestamente distribuido normal con media cero y varianza σ^2

T_k es el efecto del k-ésimo tiempo

FT_{ik} es la interacción tiempo por tratamiento

ε_{ijk} es el término de error aleatorio supuestamente distribuido normal con media cero y varianza σ^2 .

4 RESULTADOS

4.1 FASE 1. Diagnóstico de la calidad de fertilizantes orgánicos fermentados (FOF) producidos en Costa Rica

4.1.1 Encuesta sobre el proceso de elaboración del FOF

Durante el levantamiento de la encuesta se detectaron algunas diferencias en los procesos utilizados por los agricultores para elaborar los FOF. El 100 % de los agricultores utilizaron un estañón de 200 litros para preparar el fertilizante. En todos los casos, excepto uno, dicho estañón se llenó hasta el 90 % de su capacidad; la excepción fue un agricultor que elaboró solamente 100 litros de fertilizante, o sea que ocupó solamente la mitad del estañón (Agricultor H; Anexo 2). Por lo tanto, en este último caso el fertilizante estuvo en contacto con una mayor cantidad de aire que los demás fertilizantes durante la fermentación.

Con respecto al espacio físico utilizado por los agricultores para elaborar el fertilizante, todos usaron espacios techados; es más, un tercio de los agricultores lo elaboraron en una bodega o habitación especial destinada a tal fin (Anexo 2). Según los agricultores, es importante cuidar que el estañón esté herméticamente cerrado durante la elaboración del fertilizante para asegurar una correcta fermentación. Sin embargo, se observó que el 22,2 % de los agricultores no tuvieron la precaución de tapar cuidadosamente el estañón, por lo cual se produjo la entrada de aire al mismo. Con relación a la duración del proceso de elaboración, se detectó que la misma no fue constante; la variación observada presentó un rango de 15 días hasta más de 60 días de fermentación (Anexo 2).

Sólo el 11,1 % de los agricultores dejaron los estañones totalmente tapados durante todo el tiempo del proceso, sin más agitación que la realizada inicialmente para mezclar los ingredientes. Los agricultores restantes agregaron otros ingredientes opcionales (por ejemplo sales minerales, ceniza, etc.); y cada vez que estos elementos eran agregados, se mezclaba cuidadosamente el fertilizante. La cantidad de veces que el fertilizante fue mezclado dependió de dos factores: la cantidad de veces que se agregaron ingredientes opcionales y la experiencia de los agricultores. El 22,2 % de los agricultores realizaron la mezcla moviendo el estañón, mientras que el resto mezclaron el fertilizante utilizando simplemente un palo de madera (Anexo 2).

El 100 % de los agricultores coincidieron en que el aire, la oscuridad y la temperatura son los tres factores fundamentales a tener en cuenta para asegurar una buena fermentación (Anexo 2). Dado que la fermentación es un proceso anaeróbico, se debe evitar el contacto con el aire. Además, se debe evitar el contacto directo con la luz solar y por último, se debe mantener el estañón en un lugar fresco. Otro factor que mencionaron el 11,1 % de los agricultores fue la importancia de disminuir la cantidad de nitrógeno del fertilizante utilizado en su finca (Anexo 2).

Durante la encuesta se detectó una amplia variación con respecto al costo de los ingredientes utilizados para la elaboración de los FOF; los agricultores gastaron desde un mínimo de US\$ 1 a un máximo de US\$ 21 por estañón (Anexo 2). Los agricultores que utilizaron como ingredientes aquellos elementos que se encuentran en su propia finca incurrieron en gastos más bajos. En estos casos, se utilizaron solamente los ingredientes principales mencionados anteriormente (estiércol, melaza y suero) y en consecuencia los fertilizantes resultantes fueron sencillos.

Considerando la aplicación foliar de los FOF, las dosis que los agricultores mencionaron que utilizaron para sus cultivos fue variable, desde un 0,4 % hasta un 25 % (Anexo 2). Esta variación dependió de la concentración del fertilizante elaborado por cada agricultor, así como del conocimiento que cada agricultor expresó tener de su plantación y su capacidad para reconocer las necesidades de nutrición de las plantas. El 100 % de los agricultores aplicaron los fertilizantes a los cultivos a fin de proveerles de nutrimentos, el 22,2 % los utilizaron como plaguicida y el 11,1 % los aplicaron como funguicida. Además, el 11,1 % de los agricultores aplicaron el fertilizante al suelo de semillero. La frecuencia de aplicación mencionada varió desde dos veces en 7 días hasta una vez cada 15 días, dependiendo de las plantas y de la dosis (Anexo 2).

Por otro lado, considerando la aplicación de FOF al suelo, sólo el 44,4 % de los agricultores mencionaron la dosis de fertilizante que utilizaron, la que varió de 2,2 % a 50 % (Anexo 2). Dicha dosis dependió del tipo de suelo, del tipo de cultivo y de la frecuencia de aplicación del fertilizante al suelo, pero no de la frecuencia o dosis de aplicación foliar.

Todos los agricultores prepararon la cantidad de FOF necesario para ser utilizado en el lapso de 2 a 4,5 meses. Esto se debió a que los encuestados comentaron que es recomendable

utilizar la totalidad del fertilizante mientras se tiene certeza de su eficacia. Un agricultor mencionó que su fertilizante podría mantener su efectividad hasta por 3 años en una condición ideal de almacenamiento (esto es, en lugar fresco, sin efecto de la luz y con la tapa bien sellada). El resto de los agricultores mencionaron que los FOF se podrían almacenar aproximadamente durante un promedio de seis meses (Anexo 2).

El 33,3 % de los agricultores tuvieron menos de un año de experiencia en la elaboración de FOF. El 44,4 % fracasó en la elaboración del fertilizante, la mitad de los que fallaron solamente lo hicieron la primera vez; y la otra mitad siguió teniendo problemas en las ocasiones posteriores. El 75 % de los agricultores que fracasaron indicaron que el fracaso se debió al ingreso de aire al estañón durante el proceso de fermentación, mientras que el 25 % restante mencionó que la falla se debió a la adición de una cantidad menor de la debida de dos ingredientes, melaza y levadura, por lo que la fermentación no se dio adecuadamente (Anexo 2).

Los agricultores mencionaron que los efectos del FOF en los cultivos incluyen 1) mayor crecimiento, 2) mayor rendimiento, 3) brillo, 4) mejor color, 5) mejor desarrollo de las raíces, 6) más resistencia a enfermedades, 7) más vigor y 8) mejor sabor en el caso de hortalizas y frutas. Un agricultor mencionó que el efecto del fertilizante ya se puede observar luego de media hora de haber sido aplicado a las plantas (Anexo 2).

4.1.2 Caracterización de los FOF

4.1.2.1 Ingredientes principales

A partir de las encuestas que se realizaron a los agricultores, fue posible discernir una serie de ingredientes claves que son utilizados para la elaboración de los FOF. Dichos ingredientes pueden agruparse en tres categorías que pueden incluir uno o más ingredientes: 1) estiércol y lombricompost, 2) melaza y 3) suero de leche y leche cruda (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de ingredientes principales agrupados en tres categorías y agua como ingrediente complementario, utilizado en la elaboración de los FOF por los agricultores de Costa Rica.

FOF	Ingrediente Principal 1		Ingrediente Principal 2	Ingrediente Principal 3		Complementario
	Estiércol (kg)	Lombricompost (kg)	Melaza (L)	Suero (L)	Leche (L)	Agua (L)
$E_{40}M_5S_{10}$	40	0	5	10	0	140
$E_{20}M_{10}S_{180}$	20	0	10	180	0	0
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	0	20	10	180	0	0
$E_{15}M_5S_{150}a$	15	0	5	150	0	0
$E_{15}M_5S_{150}b$	15	0	5	150	0	0
$E_0M_4S_{150}$	0	0	4	150	0	0
$E_0M_{10}S_{20}$	0	0	10	20	0	160
$Lc_{20}M_7S_{160}$	0	20	7	160	0	0
$E_{30}M_{18}S_{150}$	30	8	18	150	0	26
$E_5M_{20}S_{150}$	5	0	20	150	0	0
$E_{40}M_{11}L_{22}$	40	0	11	0	22	120
$E_{50}M_3S_{20}$	50	0	3	20	0	150

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda

4.1.2.1.1 Estiércol y lombricompost

El estiércol y el lombricompost no sólo poseen nutrientes que son importantes para los cultivos y el suelo, sino que además presentan microorganismos. El 58,3 % de los fertilizantes se elaboraron sólo con estiércol, el 16,7 % sólo con lombricompost y el 8,3 % de los fertilizantes se elaboraron mediante una combinación de estiércol y lombricompost. En el 33,3 % de los fertilizantes se usaron más de 30 kg de estiércol. En el 16,7 % de los fertilizantes (los fertilizantes $E_0M_4S_{150}$ y $E_0M_{10}S_{20}$) no se usaron estiércol ni lombricompost sino otros ingredientes opcionales (Cuadro 3).

4.1.2.1.2 Melaza

La melaza es esencialmente energía para los microorganismos que realizan el proceso de fermentación. Por ello, todos los agricultores agregaron una elevada cantidad de melaza (9 L en promedio) al fertilizante durante el proceso de elaboración; incluso en el 50 % de los fertilizantes se agregó más de 10 litros de melaza (Cuadro 3). El análisis estadístico mostró una correlación significativa entre melaza y roca fosfórica ($r = 0,70$; $p = 0,0100$). Sin embargo, no se observó correlación significativa con ninguno de los otros ingredientes, ni con los resultados químicos ni microbiológicos (Anexo 3).

4.1.2.1.3 Suero de leche y leche cruda

Según Usugami (1999), el suero de leche y la leche cruda funcionan como controladores de pH debido a la presencia de *Lactobacillus*. Sin embargo, en esta fase del estudio no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre suero de leche o leche cruda y *Lactobacillus*. En el 66,7 % de los fertilizantes se utilizó de 150 a 180 L de suero, mientras que en el 25,0 % se usó una menor cantidad (de 10 a 20 L) y en el 8,3 % se agregó leche cruda en vez de suero (Cuadro 3). El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre suero y estiércol ($r = -0,61$; $p = 0,0300$), suero y agua ($r = -0,97$; $p < 0,0001$), suero y EM ($r = 0,57$; $p = 0,0500$), suero y pH ($r = -0,58$; $p = 0,0500$), suero y CE ($r = 0,72$; $p = 0,0100$), suero y P ($r = 0,59$; $p = 0,0400$), suero y CO ($r = 0,66$; $p = 0,0400$) y suero y Zn ($r = 0,62$; $p = 0,0300$; Anexo 3).

4.1.2.2 Agua

El agua es un ingrediente complementario utilizado en la elaboración de los FOF. Esta se utiliza para completar el estañón hasta un 90 % de su capacidad. Cabe destacar que la cantidad de agua agregada es inversamente proporcional a la cantidad de leche o suero de leche utilizados (Cuadro 3).

4.1.2.3 Ingredientes opcionales

Los agricultores agregan otros ingredientes a los FOF durante el proceso de elaboración. Así al 33,3 % de los fertilizantes se les agregó EM[®] (microorganismos eficaces), es un producto comercial de origen japonés fabricado en Costa Rica por el Laboratorio de EM en la EARTH, entre sus funciones se promociona como un acelerador de la fermentación; al 58,3 % se les agregó MM (microorganismos de montaña) que el agricultor prepara en su propia finca con material de áreas boscosas cercanas con la misma función que el EM; y al 25,0 % se les agregó levadura. Por otra parte, el 33,3 % de los fertilizantes no recibieron ninguno de estos ingredientes, mientras que en el 16,7 % se utilizaron los tres (Cuadro 4).

Cuadro 4. Microorganismos y levaduras agregados por los agricultores de Costa Rica a los FOF durante el proceso de elaboración.

FOF	EM	MM	Levadura
	L	kg	kg
$E_{40}M_5S_{10}$	0	0	0,5
$E_{20}M_{10}S_{180}$	0,5	3	0,5
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	0,5	3	0,5
$E_{15}M_5S_{150}a$	0,3	15	0
$E_{15}M_5S_{150}b$	0,3	15	0
$E_0M_4S_{150}$	0	2	0
$E_0M_{10}S_{20}$	0	10	0
$Lc_{20}M_7S_{160}$	0	0	0
$E_{30}M_{18}S_{150}$	0	0	0
$E_5M_{20}S_{150}$	0	6	0
$E_{40}M_{11}L_{22}$	0	0	0
$E_{50}M_3S_{20}$	0	0	0

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda,
EM = Microorganismos Eficaces, MM = Microorganismos de Montaña

Tanto los microorganismos como las levaduras se utilizan para que actúen como aceleradores de la fermentación y para que se produzca una buena fermentación. El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre EM y suero ($r = 0,57$; $p = 0,0500$), EM y levadura ($r = 0,59$; $p = 0,0500$), EM y sulfato de manganeso ($r = 0,79$; $p = 0,0020$), EM y sulfato de zinc ($r = 0,70$; $p = 0,0100$), EM y tiempo ($r = -0,75$; $p = 0,0100$), EM y *Lactobacillus* ($r = -0,65$; $p = 0,0200$), EM y N ($r = 0,76$; $p = 0,0040$), MM y CE ($r = 0,60$; $p = 0,0400$), levadura y sulfato de manganeso ($r = 0,74$; $p = 0,0100$), levadura y sulfato de zinc ($r = 0,66$; $p = 0,0200$), levadura y tiempo ($r = -0,74$; $p = 0,0100$), levadura y *Lactobacillus* ($r = -0,62$; $p = 0,0300$); y levadura y N ($r = 0,72$; $p = 0,0100$; Anexo 3).

Los agricultores también agregan sales minerales al fertilizante durante el proceso de elaboración. Según los agricultores, la cantidad de sales minerales que se utilizan dependen por un lado de la condición del suelo de su finca y de las plantas a las que se les aplicará el fertilizante y por el otro de su experiencia en el uso del fertilizante. El 58,3 % de los fertilizantes recibió el agregado de roca fosfórica y sulfato de magnesio; en el caso de este último elemento, cabe mencionar que el fertilizante $E_{15}M_5S_{150}b$ recibió el agregado de 25 kg. Además, el 41,7 % de los fertilizantes recibieron el agregado de sulfato de zinc, el 33,3 % sulfato de manganeso y cobre, el 25 % sulfato de potasio, borax y carbonato de calcio; y el 8,3 % sulfato de hierro (Cuadro 5).

Cuadro 5. Ingredientes opcionales (sales minerales) agregados por los agricultores de Costa Rica a los FOF durante el proceso de elaboración. Unidad = kg

FOF	Roca Fosfórica	Sulfato de Magnesio	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Sulfato de Zinc	Sulfato de Potasio	Borax	Carbonato de Calcio	Sulfato de hierro
$E_{40}M_5S_{10}$	1	8	0	0	0	0	0	0	0
$E_{20}M_{10}S_{180}$	8	3	4	0,5	3	0	0	0	0
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	8	3	4	0,5	3	0	0	0	0
$E_{15}M_5S_{150}a$	0	0	0	0	0	6	0	0	0
$E_{15}M_5S_{150}b$	0	25	0	0	0	0	0	0	0
$E_0M_4S_{150}$	4	1	1	0	1	1	1	0,5	0
$E_0M_{10}S_{20}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Lc_{20}M_7S_{160}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$E_{30}M_{18}S_{150}$	14	1	0,3	0,5	1	2	1	2	0,3
$E_5M_{20}S_{150}$	6	0	0	0	0	0	0	0	0
$E_{40}M_{11}L_{22}$	2	1	0	1	1	0	1	1	0
$E_{50}M_3S_{20}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda

Además, los agricultores mencionaron que utilizan otros ingredientes opcionales durante el proceso de elaboración de los FOF, tales como la ceniza, el vinagre de guineo (*Musa sapientum*), el agua de coco (*Cocos nucifera*), arvenses que se pueden encontrar en la finca y la arena del mar. Según los agricultores estas se usan para obtener una buena fermentación y proporcionar más nutrientes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Otros ingredientes opcionales agregados por los agricultores de Costa Rica a los FOF durante el proceso de elaboración.

FOF	Ceniza	Vinagre de Guineo	Agua de Pipa	Plantas Verdes	Arena del Mar
	kg	L	L	kg	kg
$E_{40}M_5S_{10}$	0	1	2	0	0
$E_{20}M_{10}S_{180}$	0	0	0	0	0
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	0	0	0	0	0
$E_{15}M_5S_{150}a$	0	0	0	0	0
$E_{15}M_5S_{150}b$	0	0	0	0	0
$E_0M_4S_{150}$	3	0	0	4	0
$E_0M_{10}S_{20}$	0	0	0	12	0
$Lc_{20}M_7S_{160}$	0	0	0	0	10
$E_{30}M_{18}S_{150}$	1,5	0	0	0	0
$E_5M_{20}S_{150}$	5	0	0	0	0
$E_{40}M_{11}L_{22}$	1	0	0	0	0
$E_{50}M_3S_{20}$	5	0	0	0	0

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda

4.1.3 Análisis químico y evaluación de nutrimentos

Según los análisis químicos realizados a las muestras tomadas a los FOF elaborados por los agricultores en Costa Rica, se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados del análisis químico de las muestras tomadas a los FOF elaborados por los agricultores de Costa Rica.

FOF	pH	CE	Ca	Mg	K	P	N	CO	Cu	Zn	Mn	Fe	Edad
		ms/cm	%	%	%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	días
<i>E₄₀M₅S₁₀</i>	4,0	14,5	0,08	0,32	0,22	0,03	0,11	1,94	1,6	2,7	12	132	40
<i>E₂₀M₁₀S₁₈₀</i>	4,3	20,4	0,08	0,21	0,25	0,41	0,65	2,17	207	2820	1939	22	15
<i>Lc₂₀M₁₀S₁₈₀</i>	3,8	15,8	0,11	0,20	0,27	0,35	0,53	2,43	129	3670	2357	67	15
<i>E₁₅M₅S_{150a}</i>	3,5	25,6	0,05	0,05	1,91	0,61	0,08	2,07	0,7	272	282	34	30
<i>E₁₅M₅S_{150b}</i>	3,4	21,5	0,09	0,99	0,26	0,04	0,12	2,37	1,3	179	61	53	60
<i>E₀M₄S₁₅₀</i>	3,4	21,4	0,10	0,27	0,47	0,47	0,23	1,74	0	1997	1780	111	60
<i>E₀M₁₀S₂₀</i>	4,2	11,9	0,13	0,05	0,37	0,04	0,13	2,06	0	2,6	32	162	60
<i>Lc₂₀M₇S₁₆₀</i>	4,3	15,0	0,18	0,16	0,46	0,03	0,10	2,18	383	2685	6669	402	60
<i>E₃₀M₁₈S₁₅₀</i>	3,9	15,5	0,28	0,16	0,44	0,30	0,22	2,66	269	2404	515	264	40
<i>E₅M₂₀S₁₅₀</i>	3,3	18,7	0,08	0,03	0,54	0,04	0,10	2,00	0,9	5,3	7,4	54	40
<i>E₄₀M₁₁L₂₂</i>	5,0	10,8	0,19	0,09	0,23	0,03	0,05	1,13	70	861	24	114	60
<i>E₅₀M₃S₂₀</i>	7,0	10,1	0,08	0,07	0,28	0,01	0,06	0,42	1,3	3,8	26	32	60

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda, CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono Orgánico

4.1.3.1 Conductividad eléctrica

De todos los fertilizantes analizados, el fertilizante *E₁₅M₅S_{150a}* fue el que presentó la CE más alta (25,6 ms/cm), mientras que el fertilizante *E₅₀M₃S₂₀* fue el que presentó la CE más baja (10,1 ms/cm) (Cuadro 7). El análisis estadístico mostró una correlación significativa ($r = -0,70$; $p = 0,0100$) entre CE y pH (Anexo 3). Por otro lado, se observó que los fertilizantes *E₄₀M₁₁L₂₂* y *E₅₀M₃S₂₀* presentaron un menor valor de CE con mayor valor de pH (Cuadro 7). A los cuatro fertilizantes *E₄₀M₅S₁₀*, *E₀M₁₀S₂₀*, *E₄₀M₁₁L₂₂* y *E₅₀M₃S₂₀* que presentaron valores más bajos de CE (14,5 ms/cm, 11,9 ms/cm, 10,8 ms/cm y 10,1 ms/cm, respectivamente; Cuadro 7), les fue agregada cierta cantidad de agua (140 L, 160 L, 120 L y 150 L; Cuadro 3), mientras que el resto tenía agregado de suero. Se observaron correlaciones significativas entre CE y agua ($r = -0,78$; $p = 0,0031$), CE y suero ($r = 0,72$; $p = 0,0100$), CE y MM ($r = 0,60$; $p = 0,0400$) y CE y sulfato de potasio ($r = 0,59$; $p = 0,0400$; Anexo 3).

4.1.3.2 Calcio

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $E_{30}M_{18}S_{150}$ fue el que presentó la cantidad de Ca más elevada (0,28 %; Cuadro 7). Esto se debió a que el agricultor agregó carbonato de calcio al fertilizante durante el proceso de elaboración (Cuadro 5). Sin embargo, cabe destacar que se observó la presencia de Ca en todos los fertilizantes (Cuadro 7), independientemente del agregado adicional de dicho elemento. Por ejemplo, los fertilizantes $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ y $Lc_{20}M_7S_{160}$ presentaron un 0,11 % y 0,18 % sin haber recibido un agregado adicional del elemento, es posible que se deba a la adición de lombricompost. El fertilizante $E_{40}M_{11}L_{22}$ presentó un 0,19 % de Ca por haber recibido un agregado adicional del elemento, también es posible que esto se deba a la adición de leche cruda (Cuadros 3, 5 y 7). El análisis estadístico mostró correlación significativa ($r = 0,85$; $p = 0,0005$) entre el porcentaje de Ca y la cantidad de carbonato de calcio agregada, Ca y Borax ($r = 0,64$; $p = 0,0300$), Ca y sulfato de hierro ($r = 0,77$; $p = 0,0036$; Anexo 3).

4.1.3.3 Magnesio

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $E_{15}M_5S_{150b}$ fue el que presentó la cantidad de Mg más elevada (0,99 %; Cuadro 7), debido a que el agricultor agregó sulfato de magnesio al fertilizante durante el proceso de elaboración (Cuadro 5). Por el contrario, el fertilizante $E_5M_{20}S_{150}$ fue el que mostró el menor porcentaje de Mg, (0,03 %; Cuadro 7) sin haber recibido el agregado adicional de dicho elemento (Cuadro 5). El análisis estadístico mostró correlación significativa ($r = 0,97$; $p < 0,0001$) entre el porcentaje de Mg y la cantidad de sulfato de magnesio agregada, Mg y germinación (2,5 %) ($r = -0,68$; $p = 0,0200$; Anexo 3). Además, es importante mencionar que el agregado de arena de mar durante la elaboración del fertilizante $Lc_{20}M_7S_{160}$ resultó en la presencia, en dicho fertilizante, de un 0,16 % de Mg (Cuadros 6 y 7).

4.1.3.4 Potasio

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $E_{15}M_5S_{150a}$ fue el que presentó la mayor cantidad de K (1,91 %; Cuadro 7). Esto se debió a que el agricultor agregó una elevada cantidad de sulfato de potasio (6 kg) al fertilizante durante el proceso de elaboración (Cuadro 5). El análisis estadístico mostró una correlación significativa ($r = 0,95$; $p < 0,0001$)

entre K y la cantidad de sulfato de potasio agregada. También hubo correlación significativa entre K y CE ($r = 0,61$; $p = 0,0300$; Anexo 3). Si bien otros agricultores también agregaron sulfato de potasio en bajas cantidades durante la elaboración de sus fertilizantes (fertilizantes $E_0M_4S_{150}$ e $E_{30}M_{18}S_{150}$), el porcentaje obtenido en el análisis de la muestra de los fertilizantes no fue significativamente diferente de los porcentajes encontrados en los fertilizantes que no recibieron adición de sulfato de potasio (Cuadro 5). Así mismo, si bien el fertilizante $E_5M_{20}S_{150}$ no recibió un aditivo de sulfato de potasio (Cuadro 5), el análisis de laboratorio determinó la presencia de un porcentaje relativamente elevado del mismo (0,54 %; Cuadro 7). El menor porcentaje de K se observó en el fertilizante $E_{40}M_5S_{10}$ (0,22 %; Cuadro 7).

4.1.3.5 Fósforo

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $E_{15}M_5S_{150a}$ fue el que presentó la mayor cantidad de P (0,61 %) sin el agregado de roca fosfórica (Cuadros 5 y 7). El análisis estadístico no mostró correlación significativa ($r = 0,37$; $p = 0,2300$; Anexo 3) entre P y la cantidad de roca fosfórica agregada. El fertilizante $E_{30}M_{18}S_{150}$ fue el que recibió la mayor cantidad de roca fosfórica (14 kg; Cuadro 5), sin embargo, el resultado del análisis de un laboratorio mostró la presencia de sólo un 0,30 % de P (Cuadro 7). Los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$ y $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ tuvieron la segunda mayor cantidad agregada de roca fosfórica (8 kg; Cuadro 5) y los resultados de laboratorio mostraron la presencia de 0,41 % y 0,35 %, respectivamente (Cuadro 7). Si bien el fertilizante $E_5M_{20}S_{150}$ recibió una cantidad agregada relativamente importante de roca fosfórica (6 kg; Cuadro 5), el resultado del análisis de laboratorio mostró que el porcentaje de P presente era muy bajo (0,04 %) comparados con los resultados de los fertilizantes $E_{15}M_5S_{150b}$, $E_0M_{10}S_{20}$ y $Lc_{20}M_7S_{160}$, los cuales no tuvieron agregados de roca fosfórica pero mostraron cantidades de P iguales a 0,04 %, 0,04 % y 0,03 %, respectivamente (Cuadro 7). El menor porcentaje de P se observó en el fertilizante $E_{50}M_3S_{20}$ (0,01 %; Cuadro 7). El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre P y suero ($r = 0,59$; $p = 0,0400$), P y la cantidad de sulfato de potasio agregada ($r = 0,70$; $p = 0,0100$), P y tiempo ($r = -0,58$; $p = 0,0500$), P y germinación con dosis de fertilizante del 2,5 % ($r = 0,64$; $p = 0,0200$), P y CE ($r = 0,70$; $p = 0,0100$) y P y K ($r = 0,61$, $p = 0,0400$; Anexo 3).

4.1.3.6 Nitrógeno

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $E_{20}M_{10}S_{180}$ fue el que presentó la mayor cantidad de N (0,65 %), seguido por el fertilizante $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ (0,53 %; Cuadro 7). Estos dos fertilizantes fueron elaborados en corto tiempo (15 días), en comparación con otros fertilizantes que tuvieron tiempos de fermentación más prolongados (de 45 a 60 días; Cuadro 7). El análisis estadístico mostró una correlación estadísticamente significativa entre N y tiempo ($r = -0,76$; $p = 0,0044$; Anexo 3). El menor porcentaje de N se observó en el fertilizante $E_{40}M_{11}L_{22}$ (0,05 %; Cuadro 7). El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre N y EM ($r = 0,76$; $p = 0,0040$), N y levadura ($r = 0,72$; $p = 0,0100$), N y roca fosfórica ($r = 0,59$; $p = 0,0400$), N y sulfato de manganeso ($r = 0,98$; $p < 0,0001$), N y sulfato de zinc ($r = 0,93$; $p < 0,0001$) y N y *Lactobacillus* ($r = -0,88$; $p = 0,0002$; Anexo 3).

4.1.3.7 Carbono orgánico

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $E_{30}M_{18}S_{150}$ fue el que presentó la mayor cantidad de CO (2,66 %; Cuadro 7). El promedio de CO de todos los fertilizantes fue 1,93 %. El menor porcentaje de CO se observó en el fertilizante $E_{50}M_3S_{20}$ (0,42 %; Cuadro 7). El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre CO y ceniza ($r = -0,57$; $p = 0,0500$), CO y estiércol ($r = -0,59$; $p = 0,0400$), CO y agua ($r = -0,60$; $p = 0,0400$), CO y suero ($r = 0,66$; $p = 0,0200$), CO y pH ($r = -0,82$; $p = 0,0011$), CO y germinación con dosis de fertilizante del 10 % ($r = -0,62$; $p = 0,0300$; Anexo 3).

4.1.3.8 Cobre

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $Lc_{20}M_7S_{160}$ fue el que presentó la cantidad de Cu más elevada (383 mg/kg; Cuadro 7) si bien no recibió el agregado de sulfato de dicho elemento (Cuadro 5). Sin embargo, cabe destacar que este fertilizante recibió el agregado de 10 kg de arena del mar (Cuadro 6). Por otro lado, los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$, $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ y $E_{30}M_{18}S_{150}$ sí recibieron cantidades de sulfato de Cu agregado (0,5 kg; Cuadro 5) y los análisis de laboratorio mostraron cantidades relativamente altas de dicho elemento (207 mg/kg, 129 mg/kg y 269 mg/k, respectivamente; Cuadro 7). Sin embargo, el análisis estadístico no mostró correlación significativa ($r = 0,31$; $p = 0,3200$; Anexo 3) entre Cu y el agregado de sulfato de este elemento. El fertilizante $E_{40}M_{11}L_{22}$ recibió el agregado de 1 kg de

sulfato de cobre (Cuadro 5), pero el resultado del análisis de laboratorio mostró una cantidad de Cu (70 mg/kg; Cuadro 7) menor que la observada en otros fertilizantes a los que se les habían agregado menores cantidades de sulfato de ese elemento, tales como el fertilizante $E_{20}M_{10}S_{180}$, que recibió sólo 0,5 kg (Cuadro 5). Los fertilizantes $E_0M_4S_{150}$ y $E_0M_{10}S_{20}$ no presentaron Cu (0 mg/kg); estos dos fertilizantes fueron elaborados con plantas verdes (Cuadro 6), sin estiércol ni lombricompost (Cuadro 3). Hubo correlaciones significativas entre Cu y lombricompost ($r = 0,72$; $p = 0,0100$), Cu y arena del mar ($r = 0,71$; $p = 0,0100$), Cu y *Lactobacillus* ($r = -0,58$; $p = 0,0500$), Cu y germinación con dosis de fertilizante del 10 % ($r = -0,68$; $p = 0,0100$) y Cu y Ca ($r = 0,64$; $p = 0,0300$; Anexo 3).

4.1.3.9 Zinc

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ fue el que presentó la mayor cantidad de Zn (3670 mg/kg) (Cuadro 7). Esto se debió a que el agricultor agregó una elevada cantidad de sulfato de zinc (3 kg) al fertilizante durante el proceso de elaboración (Cuadro 5). Los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$, $E_0M_4S_{150}$, $E_{30}M_{18}S_{150}$ y $E_{40}M_{11}L_{22}$ también recibieron adición de sulfato de zinc y los exámenes de laboratorio mostraron una cantidad alta de este elemento en las muestras (Cuadros 5 y 7). El análisis estadístico mostró una correlación significativa ($r = 0,79$; $p = 0,0023$) entre Zn y cantidad de sulfato de zinc agregado. También hubo correlaciones significativas entre Zn y lombricompost ($r = 0,73$; $p = 0,0100$), Zn y suero ($r = 0,62$; $p = 0,0300$), Zn y la cantidad de roca fosfórica agregada ($r = 0,61$; $p = 0,0300$), Zn y sulfato de manganeso ($r = 0,74$; $p = 0,0100$), Zn y *Lactobacillus* ($r = -0,79$; $p = 0,0025$), Zn y germinación con dosis de fertilizante del 10 % ($r = -0,59$; $p = 0,0400$), Zn y N ($r = 0,74$; $p = 0,0100$) y Zn y Cu ($r = 0,74$; $p = 0,0100$; Anexo 3). Sin embargo, el fertilizante $Lc_{20}M_7S_{160}$ mostró una alta cantidad de Zn (2685 mg/kg) sin haber recibido el agregado de sulfato de dicho elemento; sin embargo, recibió la adición de 10 kg de arena del mar (Cuadros 5, 6 y 7). Esto mismo se observó en los fertilizantes $E_{15}M_5S_{150a}$ y $E_{15}M_5S_{150b}$, los cuales presentaron una cantidad relativamente elevada de Zn (272 mg/kg y 179 mg/kg, respectivamente) sin haber recibido la adición de sulfato de ese elemento; estos dos fertilizantes recibieron el agregado de EM (Cuadros 4, 5 y 7).

4.1.3.10 Manganeso

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $Lc_{20}M_7S_{160}$ fue el que presentó la mayor cantidad de Mn (6669 mg/kg) sin que haya recibido el agregado de sulfato de dicho elemento; sin embargo, como ya se menciona para el elemento Zn, este fertilizante recibió la adición de arena del mar (10 kg; Cuadros 6 y 7). Los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$, $Lc_{20}M_{10}S_{180}$, $E_0M_4S_{150}$ y $E_{30}M_{18}S_{150}$, que recibieron adición de manganeso, mostraron una elevada cantidad del mismo (Cuadros 5 y 7). Los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$ y $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ tuvieron agregados de la misma cantidad (4 kg) de sulfato de manganeso (Cuadro 5), aunque los resultados del análisis de laboratorio mostraron una marcada diferencia (850mg/kg) en la cantidad de Mg presente en cada uno de ellos (2820 mg/kg y 3670 mg/kg, respectivamente; Cuadro 7). Sin embargo, es importante resaltar que el fertilizante $E_{20}M_{10}S_{180}$ fue elaborado con estiércol y el fertilizante $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ con lombricompost (Cuadro 3). El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre Mn y lombricompost ($r = 0,78$; $p = 0,0030$), Mn y arena del mar ($r = 0,89$; $p < 0,0001$), Mn y Cu ($r = 0,78$; $p = 0,0029$) y Mn y Zn ($r = 0,68$; $p = 0,0200$; Anexo 3).

4.1.3.11 Hierro

De los diferentes fertilizantes analizados, el fertilizante $Lc_{20}M_7S_{160}$ fue el que presentó la mayor cantidad de Fe (402 mg/kg) sin que haya recibido el agregado de dicho elemento, aunque recibió el agregado de 10 kg de arena del mar (Cuadros 5, 6 y 7). El fertilizante $E_{30}M_{18}S_{150}$ presentó una cantidad relativamente elevada de Fe (264 mg/kg), pero recibió el agregado de 0,3 kg de sulfato de hierro (Cuadros 5 y 7). El fertilizante $E_{40}M_{11}L_{22}$ recibió el agregado de leche cruda (Cuadro 3); sin embargo, el análisis estadístico no mostró una correlación significativa entre Fe y leche cruda ($r = -0,02$; $p = 0,9500$; Anexo 3). Hubo correlaciones significativas entre Fe y lombricompost ($r = 0,59$; $p = 0,0400$), Fe y arena del mar ($r = 0,79$; $p = 0,0023$), Fe y Ca ($r = 0,72$; $p = 0,0100$), Fe y Cu ($r = 0,73$; $p = 0,0100$) y Fe y Mn ($r = 0,66$; $p = 0,0200$; Anexo 3).

4.1.4 Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad

Se realizó un análisis microbiológico para evaluar la presencia de coliformes totales, *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Lactobacillus*. Se encontraron coliformes totales (350 NMP/100mL) y *E. coli* (240 NMP/100mL) en el fertilizante $E_{40}M_5S_{10}$ únicamente (Cuadro 8).

Este fertilizante fue elaborado con la menor cantidad de suero (10 L), una cantidad relativamente elevada de estiércol bovino (40 kg) y poca cantidad de melaza (5 L; Cuadro 3). No se encontró *Salmonella* en ninguno de los fertilizantes. Por el contrario, se encontró *Lactobacillus* en todos los fertilizantes y en el 58,3 % se encontraron más de 30000 UFC/ml. Los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$ y $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ mostraron muy bajas cantidades de *Lactobacillus* (Cuadro 8); estos fertilizantes se elaboraron con suero (180 L; Cuadro 3), pero, si se los compara con los restantes fertilizantes, tuvieron un tiempo de fermentación muy corto (15 días; Cuadro 7). El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre *Lactobacillus* y lombricompost ($r = -0,58$; $p = 0,0500$), *Lactobacillus* y EM ($r = -0,65$; $p = 0,0200$), *Lactobacillus* y levadura ($r = -0,62$; $p = 0,0300$), *Lactobacillus* y manganeso ($r = -0,86$; $p = 0,0003$), *Lactobacillus* y zinc ($r = -0,81$; $p = 0,0013$), *Lactobacillus* y tiempo de fermentación ($r = 0,65$; $p = 0,0200$; Anexo 3).

Cuadro 8. Resultados del análisis microbiológico de las muestras tomadas a los FOF elaborados por los agricultores de Costa Rica.

FOF	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Lactobacillus</i>	pH
	NMP/100ml	NMP/100ml		UFC/ml	
$E_{40}M_3S_{10}$	350	240	Negativo	30000	4,0
$E_{20}M_{10}S_{180}$	2	2	Negativo	200	4,3
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	2	2	Negativo	200	3,8
$E_{15}M_3S_{150}a$	2	2	Negativo	30000	3,5
$E_{15}M_3S_{150}b$	2	2	Negativo	30000	3,4
$E_0M_4S_{150}$	2	2	Negativo	30000	3,4
$E_0M_{10}S_{20}$	2	2	Negativo	18000	4,2
$Lc_{20}M_7S_{160}$	2	2	Negativo	16000	4,3
$E_{30}M_{18}S_{150}$	2	2	Negativo	20000	3,9
$E_3M_{20}S_{150}$	2	2	Negativo	30000	3,3
$E_{40}M_{11}L_{22}$	2	2	Negativo	30000	5,0
$E_{50}M_3S_{20}$	2	2	Negativo	30000	7,0

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda, NMP = Número Más Probable, UFC = Unidad de Formación de Colonias

4.1.5 Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación)

La germinación de los tratamientos con dosis del 2,5 % fue, en promedio, del 84,3 %, mientras que en los de dosis del 10 % fue, en promedio, del 49,8 %. Los tratamientos incluyeron 12 fertilizantes con dos niveles de dosis y dos testigos (agua y *ECO-HUM DX*) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Tasa de germinación (%) de semillas de repollo (*Brassica olearacea*) tratadas con los FOF elaborados por los agricultores; con dosis aplicadas: 2,5 % y 10 %. Los valores representan el promedio de tres repeticiones.

Tratamientos (2,5 %)	Germinación	Tratamientos (10 %)	Germinación
$E_{40}M_5S_{10}$	71,3	$E_{40}M_5S_{10}$	34,0
$E_{20}M_{10}S_{180}$	88,0	$E_{20}M_{10}S_{180}$	2,7
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	91,3	$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	36,7
$E_{15}M_5S_{150}a$	95,3	$E_{15}M_5S_{150}a$	53,3
$E_{15}M_5S_{150}b$	68,0	$E_{15}M_5S_{150}b$	30,7
$E_0M_4S_{150}$	91,3	$E_0M_4S_{150}$	72,7
$E_0M_{10}S_{20}$	84,7	$E_0M_{10}S_{20}$	84,7
$Lc_{20}M_7S_{160}$	82,7	$Lc_{20}M_7S_{160}$	14,7
$E_{30}M_{18}S_{150}$	83,3	$E_{30}M_{18}S_{150}$	32,7
$E_5M_{20}S_{150}$	80,7	$E_5M_{20}S_{150}$	78,0
$E_{40}M_{11}L_{22}$	84,7	$E_{40}M_{11}L_{22}$	70,0
$E_{50}M_3S_{20}$	90,7	$E_{50}M_3S_{20}$	87,3
Promedio (2,5 %)	84,3	Promedio (10 %)	49,8
Agua (testigo)	84,0	<i>ECO-HUM DX</i> (testigo)	82,7

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda, *ECO-HUM DX* = fertilizante orgánico comercial

En el análisis estadístico se encontró efecto de tratamientos ($p < 0,0001$; con porcentajes de germinación desde 2,67 % hasta 95,33 %; Anexo 4). Los mayores promedios de germinación se observaron en el tratamiento del fertilizante $E_{15}M_5S_{150}a$, con dosis del 2,5 % (95,33 %) y del fertilizante $E_{50}M_3S_{20}$ con dosis del 10 % (87,33 %). Por el contrario, la menor germinación se observó en el tratamiento del fertilizante $E_{15}M_5S_{150}b$ con dosis del 2,5 % (68,00 % en promedio) y en el tratamiento del fertilizante $E_{20}M_{10}S_{180}$ con dosis del 10 % (2,67 % en promedio; Anexo 4). Cabe destacar que se observó una fuerte contaminación micótica en los fertilizante $E_{20}M_{10}S_{180}$ y $Lc_{20}M_7S_{160}$ con dosis del 10 %. Ambos testigos, agua y *ECO-HUM DX*, presentaron medias de germinación superiores al 80 % (Anexo 4).

El análisis estadístico mostró correlaciones significativas entre germinación con dosis del fertilizante del 2,5 % y cantidad de sulfato de magnesio agregado ($r = -0,74$; $p = 0,0100$), germinación con dosis del fertilizante del 10 % y ceniza ($r = 0,64$; $p = 0,0300$) y germinación con dosis del fertilizante del 10 % y *Lactobacillus* ($r = 0,57$; $p = 0,0500$; Anexo 3).

4.1.6 Ensayos en invernadero

4.1.6.1 Ensayo 1: Sustrato con 20 % de compost

De los tratamientos con los diferentes fertilizantes con dosis del 2,5 %, las plántulas que mostraron el mayor aumento promedio en altura (57,0 cm) fueron las tratadas con el fertilizante $E_{30}M_{18}S_{150}$. El mismo aumento (57,0 cm) se observó en el tratamiento del fertilizante $E_{50}M_3S_{20}$ con dosis del 10 %. El menor aumento se observó en plántulas del tratamiento del fertilizante $E_{40}M_5S_{10}$ con dosis del 2,5 % (47,5 cm) y del tratamiento del fertilizante $E_{30}M_{18}S_{150}$ con dosis del 10 % (45,6 cm; Cuadro 10). Sin embargo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos para la variable altura (Anexo 5). En cuanto los testigos, en el agua las plántulas mostraron un aumento promedio en la altura de 55,2 cm mientras que en el fertilizante comercial *ECO-HUM DX* se observó un aumento en la altura promedio de las plántulas de 54,7 cm. Los promedios de ambos testigos fueron mayores que los de los FOF (Cuadro 10).

Cuadro 10. Promedio de crecimiento total (última medición – medición inicial) de los tratamientos a los que se les aplicaron los distintos fertilizantes (suelo + 20 % de compost + 2,5 % y 10 % de FOF) en el Ensayo 1 de la Fase 1.

Tratamientos (2,5 %)	Altura (cm)	# de Hojas	Tratamiento (10 %)	Altura (cm)	# de Hojas
$E_{40}M_5S_{10}$	47,5	8,6	$E_{40}M_5S_{10}$	55,6	8,0
$E_{20}M_{10}S_{180}$	49,4	8,6	$E_{20}M_{10}S_{180}$	53,8	9,2
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	50,7	9,0	$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	50,9	8,8
$E_{15}M_5S_{150}a$	53,8	8,6	$E_{15}M_5S_{150}a$	50,0	9,2
$E_{15}M_5S_{150}b$	48,7	9,0	$E_{15}M_5S_{150}b$	54,6	8,6
$E_0M_4S_{150}$	51,5	9,2	$E_0M_4S_{150}$	50,5	9,0
$E_0M_{10}S_{20}$	52,9	9,4	$E_0M_{10}S_{20}$	56,0	9,4
$Lc_{20}M_7S_{160}$	55,9	9,2	$Lc_{20}M_7S_{160}$	48,6	8,4
$E_{30}M_{18}S_{150}$	57,0	9,4	$E_{30}M_{18}S_{150}$	45,6	8,0
$E_5M_{20}S_{150}$	51,5	8,8	$E_5M_{20}S_{150}$	56,9	9,4
$E_{40}M_{11}L_{22}$	48,2	8,6	$E_{40}M_{11}L_{22}$	47,0	8,2
$E_{50}M_3S_{20}$	50,9	8,6	$E_{50}M_3S_{20}$	57,0	9,2
Promedio (2,5 %)	51,5	8,9	Promedio (10 %)	52,2	8,8
Agua (testigo)	55,2	9,0	<i>ECO-HUM DX</i> (testigo)	54,7	9,8

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda, *ECO-HUM DX* = fertilizante orgánico comercial

El mayor aumento del número de hojas se observó en el tratamiento de los fertilizantes $E_0M_{10}S_{20}$ y $E_{30}M_{18}S_{150}$ con dosis de 2,5 %, alcanzando en promedio a 9,4 hojas. Un aumento similar (9,4 en promedio) se observó en el tratamiento de los fertilizantes $E_0M_{10}S_{20}$ y $E_5M_{20}S_{150}$ con dosis del 10 %. El menor aumento (8,6 en promedio) se observó en plántulas de los tratamientos de los fertilizantes $E_{40}M_5S_{10}$, $E_{20}M_{10}S_{180}$, $E_{15}M_5S_{150}a$, $E_{40}M_{11}L_{22}$ y $E_{50}M_3S_{20}$, con dosis del 2,5 %; y en plántulas de los tratamientos de los fertilizantes $E_{40}M_5S_{10}$ y

$E_{30}M_{18}S_{150}$ con dosis del 10 % (8,0 en promedio; Cuadro 10). Sin embargo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos para el número de hojas (Anexo 6). En cuanto los testigos, en el agua las plántulas mostraron un aumento promedio en el número de hojas de 9,0 hojas, mientras que en el fertilizante comercial *ECO-HUM DX* se observó que el número de hojas aumentó en promedio a 9,8. Los promedios de ambos testigos fueron mayores que los de los FOF (Cuadro 10). A partir de la tercera semana del ensayo se observó una caída generalizada promedio de 2,6 hojas por plántula, durante la duración del tratamiento, tanto en los tratamientos con dosis de fertilizante del 2,5 % y 10 % como en los testigos.

4.1.6.2 Ensayo 2: Sustrato con 5 % de compost

De los tratamientos con los diferentes fertilizantes con dosis del 2,5 %, las plántulas que mostraron el mayor aumento promedio de altura (26,7 cm) fueron las tratadas con el fertilizante $E_5M_{20}S_{150}$. Por el contrario, con dosis del 10 %, las plántulas que mostraron el mayor aumento promedio (31,7 cm) fueron las tratadas con el fertilizante $E_0M_4S_{150}$. Por otra parte, con dosis del 2,5 %, el menor aumento promedio se observó en plántulas del tratamiento del fertilizante $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ (18,4 cm), mientras que con dosis del 10 % el menor aumento promedio (23,0 cm) se observó en plántulas de los tratamientos de los fertilizantes $E_{15}M_5S_{150a}$ y $E_{50}M_3S_{20}$ (Cuadro 11). El análisis de varianza no encontró diferencias significativas entre tratamientos para el aumento de altura (Anexo 7).

Cuadro 11. Promedio de crecimiento total (última medición – medición inicial) de los tratamientos a los que se les aplicaron los distintos fertilizantes (Suelo + 5 % de compost + 2,5 % y 10 % de FOF) en el Ensayo 2 de la Fase 1.

Tratamientos (2,5 %)	Altura (cm)	# de Hojas	Tratamiento (10 %)	Altura (cm)	# de Hojas
$E_{40}M_5S_{10}$	23,8	2,4	$E_{40}M_5S_{10}$	25,3	1,8
$E_{20}M_{10}S_{180}$	20,1	2,8	$E_{20}M_{10}S_{180}$	29,2	4,4
$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	18,4	1,4	$Lc_{20}M_{10}S_{180}$	24,4	4,0
$E_{15}M_5S_{150a}$	24,0	0,6	$E_{15}M_5S_{150a}$	23,0	3,0
$E_{15}M_5S_{150b}$	24,5	2,6	$E_{15}M_5S_{150b}$	28,7	2,0
$E_0M_4S_{150}$	21,5	2,6	$E_0M_4S_{150}$	31,7	2,2
$E_0M_{10}S_{20}$	24,0	2,8	$E_0M_{10}S_{20}$	25,3	2,4
$Lc_{20}M_7S_{160}$	20,0	2,2	$Lc_{20}M_7S_{160}$	24,3	2,6
$E_{30}M_{18}S_{150}$	24,9	2,6	$E_{30}M_{18}S_{150}$	29,5	2,6
$E_5M_{20}S_{150}$	26,7	2,0	$E_5M_{20}S_{150}$	27,7	2,2
$E_{40}M_{11}L_{22}$	21,5	1,6	$E_{40}M_{11}L_{22}$	25,1	2,8
$E_{50}M_3S_{20}$	20,0	1,8	$E_{50}M_3S_{20}$	23,0	2,0
Promedio (2,5 %)	22,4	2,1	Promedio (10 %)	26,4	2,7
Agua (testigo)	23,4	1,4	<i>ECO-HUM DX</i> (testigo)	22,3	2,8

E = estiércol, M = melaza, S = suero, Lc = lombricompost, L = leche cruda,
ECO-HUM DX = fertilizante orgánico comercial

El mayor aumento del número de hojas, alcanzando en promedio a 2,8 hojas, se observó en el tratamiento de los fertilizantes $E_{20}M_{10}S_{180}$ y $E_0M_{10}S_{20}$ con dosis del 2,5 % y en el tratamiento del fertilizante $E_{20}M_{10}S_{180}$ (4,4 en promedio) con dosis del 10 %. El menor aumento en el número de hojas (0,6 en promedio) se observó en plántulas del tratamiento del fertilizante $E_{15}M_5S_{150a}$ con dosis del 2,5 % y en plántulas del tratamiento del fertilizante $E_{40}M_5S_{10}$ con dosis del 10 % (1,8 en promedio; Cuadro 11). Sin embargo, el análisis de varianza no encontró diferencias significativas entre tratamientos para el número de hojas (Anexo 8). A partir de la tercera semana del ensayo se observó una caída generalizada promedio de 2 hojas por plántula, durante la duración del tratamiento, en los tratamientos con dosis de fertilizante del 2,5 %, mientras que en los tratamientos con dosis del 10 % las plántulas perdieron en promedio 1,9 hojas.

4.1.7 Agrupamiento estadístico de los FOF

Con base en los ingredientes utilizados por los agricultores para elaborar sus FOF y a los resultados microbiológicos, químicos y de germinación; y utilizando como herramienta el programa estadístico *InfoStat*, se detectaron cuatro agrupamientos (Figura 2). El Grupo 1 incluye los fertilizantes $E_{15}M_5S_{150b}$, $E_{15}M_5S_{150a}$, $E_5M_{20}S_{150}$, $E_0M_4S_{150}$ y $E_0M_{10}S_{20}$, el Grupo 2 incluye los fertilizantes $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ y $E_{20}M_{10}S_{180}$, el Grupo 3 incluye los fertilizantes $Lc_{20}M_7S_{160}$ y $E_{30}M_{18}S_{150}$; y el Grupo 4 incluye los fertilizantes $E_{40}M_5S_{10}$, $E_{50}M_3S_{20}$ y $E_{40}M_{11}L_{22}$. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los Grupos 1,3 y 4 y el Grupo 2 en el agregado de EM ($p = 0,0064$), Levadura ($p = 0,0166$), sulfato de manganeso ($p < 0,0001$), sulfato de zinc ($p = 0,0008$), tiempo de proceso ($p = 0,0375$) y N ($p = 0,0001$). También se observaron diferencias significativas entre los Grupos 1,2 y 3 y el Grupo 4 en el agregado de estiércol ($p = 0,0102$), suero ($p = 0,0068$) y C.O. ($p = 0,0379$). Las diferencias significativas entre los Grupos 1, 2 y 4 y el Grupo 3 se observaron en Ca (resultado de análisis; $p = 0,0351$) y Fe (resultado de análisis; $p = 0,0034$). Se encontraron las diferencias significativas entre los Grupos 1 y 4 y el Grupo 2 y el Grupo 3 en *Lactobacillus* ($p = 0,0001$) y Cu (resultado de análisis; $p < 0,0001$). Además se observó diferencia significativa en el agregado de MM entre los Grupos 1 y 2 (con MM) y los Grupos 3 y 4 (sin MM; $p = 0,0327$). Finalmente se observó diferencia significativa entre los Grupos 1 y 4 y los Grupos 2 y 3 en Zn (resultado de análisis; $p = 0,0025$; Anexo 9).

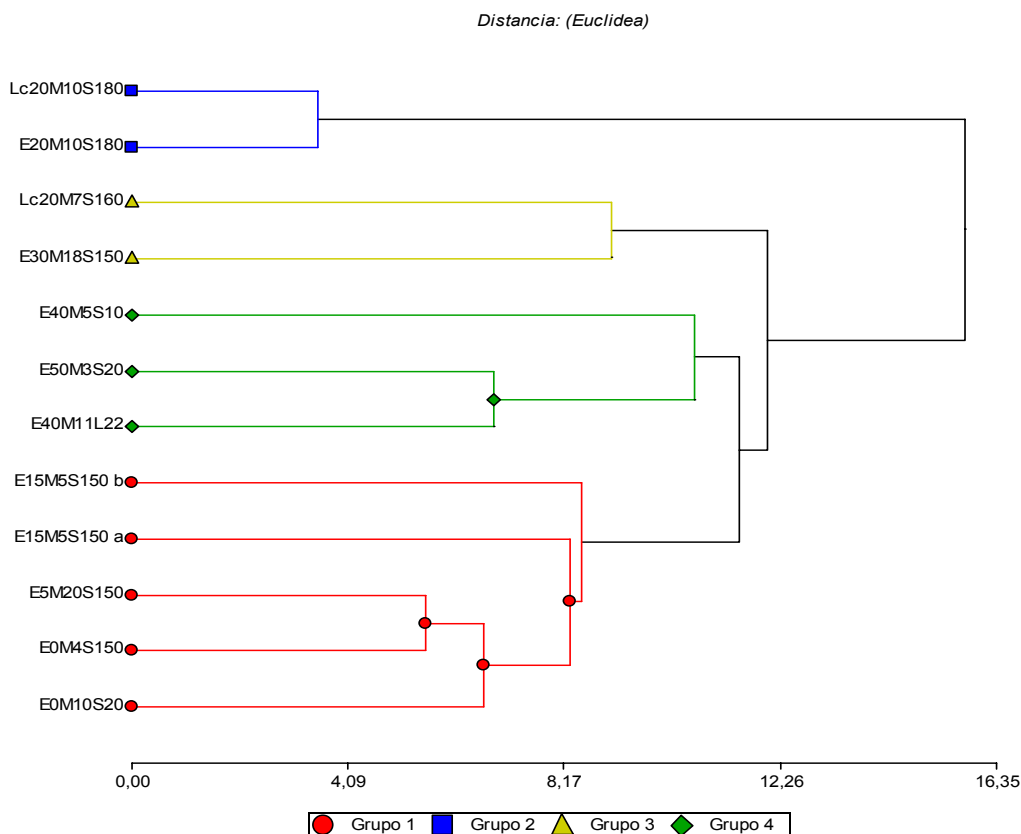


Figura 2. Agrupamiento de los FOF de acuerdo a sus características (ingredientes, resultados de análisis químicos, microbiológicos y de fitotoxicidad)

4.2 FASE 2. Análisis y evaluación de los factores que afectan la calidad de los FOF elaborados en laboratorio

4.2.1 Análisis químico (Evaluación de nutrientes)

4.2.1.1 pH

A los 15 días de comenzada la elaboración del FOF en el laboratorio, se realizó un análisis de pH que no mostró interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) y el pH. Sin embargo, se encontró efecto de suero ($p = 0,0012$), siendo el fertilizante sin suero superior al del fertilizante con suero (Anexo 10). Los fertilizantes $E_0M_{40}S_0$, $E_{550}M_{40}S_0$ y $E_{200}M_{40}S_0$ presentaron un pH más alto, de 4,27 a 3,88 en promedio. El fertilizante $E_0M_{40}S_0$ tuvo el mayor pH (4,27 en promedio) y el menor pH lo tuvo el fertilizante $E_{200}M_{40}S_1$ (3,56 en promedio; Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados promedio de los análisis químicos de los FOF elaborados en laboratorio, realizados a los 15, 30 y 45 días para N-NH₄, N-NO₃, N-total y pH de comenzado el proceso de fermentación.

FOF	pH	pH	pH	N-NH ₄	N-NH ₄	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NO ₃	N-NO ₃	N-total	N-total	N-total
	15 días	30 días	45 días	15 días	30 días	45 días	15 días	30 días	45 días	15 días	30 días	45 días
				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%	%	%
<i>E₀M₄₀S₀</i>	4,27	4,15	4,07	3,98	3,89	2,68	0,74	0,19	0,46	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₀M₄₀S₁</i>	3,58	3,50	3,56	84,35	48,40	10,36	0,64	0,01	0,40	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₀M₂₅₀S₀</i>	3,83	3,92	4,02	55,50	11,15	6,85	3,40	6,80	0,48	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₀M₂₅₀S₁</i>	3,69	3,52	3,47	28,65	67,30	9,48	2,98	2,90	0,41	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₂₀₀M₄₀S₀</i>	3,88	3,95	4,02	5,28	6,37	3,77	4,16	5,32	0,55	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₂₀₀M₄₀S₁</i>	3,56	3,49	3,55	29,95	89,80	13,50	2,48	3,03	0,23	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₂₀₀M₂₅₀S₀</i>	3,70	3,69	3,61	10,85	10,38	7,47	3,74	7,91	3,30	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₂₀₀M₂₅₀S₁</i>	3,62	3,61	3,62	94,80	66,10	41,96	2,03	3,35	3,08	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₅₅₀M₄₀S₀</i>	4,08	3,99	4,30	15,62	13,59	6,81	7,79	9,65	6,06	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₅₅₀M₄₀S₁</i>	3,58	3,54	3,57	99,75	71,35	23,97	3,54	5,29	2,60	0,01	<0,01	<0,01
<i>E₅₅₀M₂₅₀S₀</i>	3,79	3,72	3,68	20,15	13,10	14,08	12,30	13,15	11,36	<0,01	<0,01	<0,01
<i>E₅₅₀M₂₅₀S₁</i>	3,64	3,59	3,61	177,81	143,05	10,19	6,09	7,25	8,49	0,02	0,02	<0,01

E = estiércol, M = melaza, S = suero

El análisis realizado a los 30 días de comenzada la elaboración del FOF no mostró interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) para pH. Sin embargo, se encontró efecto de suero ($p = 0,0008$). Además, al igual que en el análisis realizado a los 15 días, a los 30 días se detectó que el nivel de pH en el fertilizante sin suero fue superior al del fertilizante con suero (3,90 y 3,54, respectivamente; Cuadro 12 y Anexo 11).

El análisis realizado a los 45 días de comenzada la elaboración del FOF mostró que existe interacción entre melaza y suero ($p = 0,0007$) para pH. Sin embargo, esta interacción es sin cambio de rango, por lo cual se presentan en el Anexo 12 las diferencias de medias para los ingredientes principales en los que se observaron diferencias significativas. Se encontró efecto de melaza ($p = 0,0010$) y de suero ($p < 0,0001$), pero no se encontró efecto de estiércol. Con respecto al nivel de pH, a los 45 días el fertilizante con 40 cc de melaza fue superior al de 250 cc (3,84 y 3,67, respectivamente). Por otro lado, el fertilizante sin suero fue superior al fertilizante con suero (3,95 y 3,56, respectivamente; Anexo 12).

El 25 % de los FOF aumentaron el nivel de pH durante el proceso de fermentación. El fertilizante *E₅₅₀M₄₀S₀* mostró un aumento en el pH que fue desde 4,08 hasta 4,30 (Figura 3).

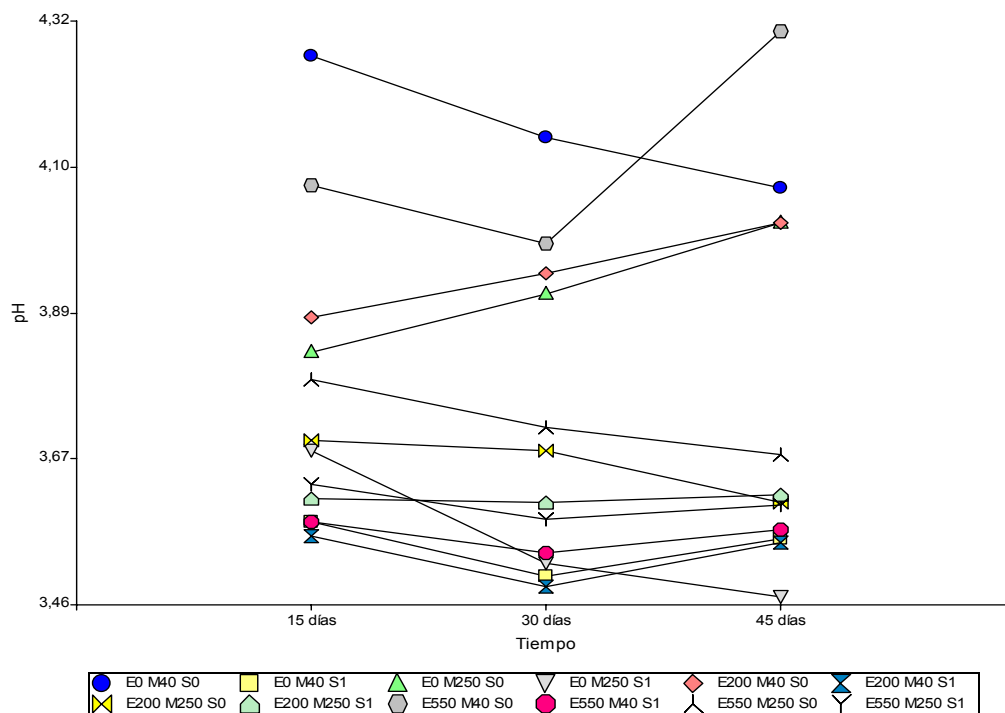


Figura 3. Variación del pH a través del tiempo durante el proceso de elaboración del FOF en laboratorio

4.2.1.2 N-NH₄

El análisis realizado a los 15 días de comenzada la elaboración del FOF no mostró interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) para N-NH₄. El fertilizante $E_0M_{40}S_0$ tuvo la menor cantidad de N-NH₄ (3,98 en promedio), mientras que el fertilizante $E_{550}M_{250}S_1$ mostró una alta cantidad de N-NH₄ (177,81 en promedio; Cuadro 12). Se encontró efecto de estiércol ($p = 0,0233$) y de suero ($p = 0,0001$). Sin embargo, no se encontró efecto de melaza. La cantidad de N-NH₄ observada en los fertilizantes con suero fue superior a la de aquellos sin suero (85,89 y 18,56, respectivamente). Respecto al estiércol, el fertilizante con 550 gramos mostró una mayor cantidad de N-NH₄ que los fertilizantes con 0 y 200 gramos (78,33, 43,12 y 35,22, respectivamente; Cuadro 12 y Anexo 13).

Al igual que en el análisis realizado a los 15 días, el análisis a los 30 días de comenzada la elaboración del FOF no mostró interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) para N-NH₄. El 25 % de los FOF mostraron un aumento de la cantidad de N-NH₄, mientras que el resto de los fertilizantes

bajaron la cantidad del mismo (Cuadro 12 y Figura 4). Se encontró efecto de suero ($p < 0,0001$); sin embargo, no se encontró efecto de estiércol ni de melaza. A los 30 días, la cantidad de $N-NH_4$ en el fertilizante con suero fue superior a la del fertilizante sin suero (81,00 y 9,75, respectivamente; Anexo 14).

Al igual que en los análisis realizado a los 15 y 30 días, el análisis a los 45 días de comenzada la elaboración del FOF no mostró interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) para $N-NH_4$. Tampoco se encontró efecto de los ingredientes principales. (Cuadro 12 y Anexo 15).

El fertilizante $E_{550}M_{250}S_1$ mostró una disminución de la cantidad de $N-NH_4$, desde 177,81 mg/L a los 15 días hasta 10,19 mg/L a los 45 días (Cuadro 12 y Figura 4). Es importante destacar que este fertilizante tenía las concentraciones más altas de las 3 variables (estiércol, melaza, suero), por lo que inicialmente mostraba una concentración muy alta de $N-NH_4$, pero al final la concentración bajó a niveles similares a los del resto.

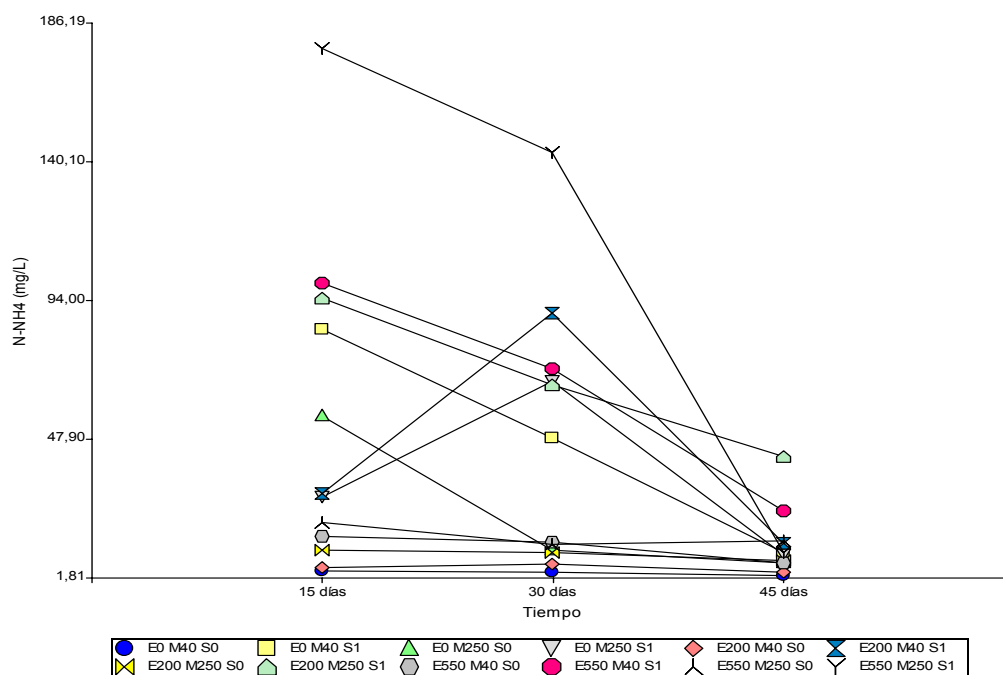


Figura 4. Variación del $N-NH_4$ a través del tiempo durante el proceso de elaboración del FOF en laboratorio

4.2.1.3 N-NO₃

Al igual que en los análisis realizados a los 15 días para pH y N-NH₄, el análisis realizado no mostró interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) para N-NO₃. Se encontró efecto de estiércol ($p = 0,0001$), melaza ($p = 0,0211$) y suero ($p = 0,0054$). Respecto al estiércol, a los 15 días la cantidad de N-NO₃ en el fertilizante con 550 gramos fue superior al de 0 y 200 gramos. Con respecto a la melaza, el fertilizante con 250 cc tuvo una mayor cantidad de N-NO₃ que el fertilizante con 40 cc. Y finalmente, el fertilizante sin suero mostró una mayor cantidad de N-NO₃ que el fertilizante con suero (Cuadro 12 y Anexo 16).

A diferencia del análisis realizado a los 15 días de comenzada la elaboración del FOF, el análisis realizado a los 30 días mostró que existe interacción entre estiércol y melaza ($p = 0,0011$), estiércol y suero ($p = 0,0017$) y melaza y suero ($p = 0,0005$) para N-NO₃. Sin embargo, estas interacciones son sin cambio de rango, por lo cual se presentan en el Anexo 17 las diferencias de medias para los ingredientes que mostraron diferencias significativas. Se encontró efecto de estiércol ($p < 0,0001$), de melaza ($p < 0,0001$) y de suero ($p < 0,0001$). La cantidad de N-NO₃ a los 30 días fue superior en el fertilizante con 550 gramos de estiércol que en los fertilizantes con 0 y 200 gramos de estiércol. Con respecto a la melaza, el fertilizante con 250 cc tuvo una mayor cantidad de N-NO₃ que el fertilizante con 40 cc. Y finalmente, el fertilizante sin suero mostró una mayor cantidad de N-NO₃ que el fertilizante con suero (Cuadro 12 y Anexo 17).

El análisis realizado a los 45 días de comenzada la elaboración del FOF mostró que existe una interacción significativa entre estiércol y melaza ($p = 0,0058$). Sin embargo, dado que esta interacción es del tipo sin cambio de rango, en el Anexo 18 se presentan las diferencias de medias para los distintos ingredientes que mostraron diferencias significativas. Se encontraron efecto de estiércol ($p < 0,0001$) y de melaza ($p = 0,0003$). El fertilizante con 550 gramos de estiércol presentó una mayor cantidad de N-NO₃ que los fertilizantes con 0 y 200 gramos de estiércol. Y con respecto a la melaza, el fertilizante con 250 cc tuvo una mayor cantidad de N-NO₃ que el fertilizante con 40 cc (Cuadro 12 y Anexo 18).

El fertilizante $E_{550}M_{250}S_0$ mostró una cantidad elevada de $N-NO_3$ durante todo el tiempo del proceso del FOF. Por su parte, el fertilizante $E_{550}M_{250}S_1$ mostró un crecimiento constante durante todo el proceso, mientras que la mayoría de los restantes fertilizantes tuvieron un aumento inicial y luego mostraron una disminución de la cantidad de $N-NO_3$ (Cuadro 12 y Figura 5).

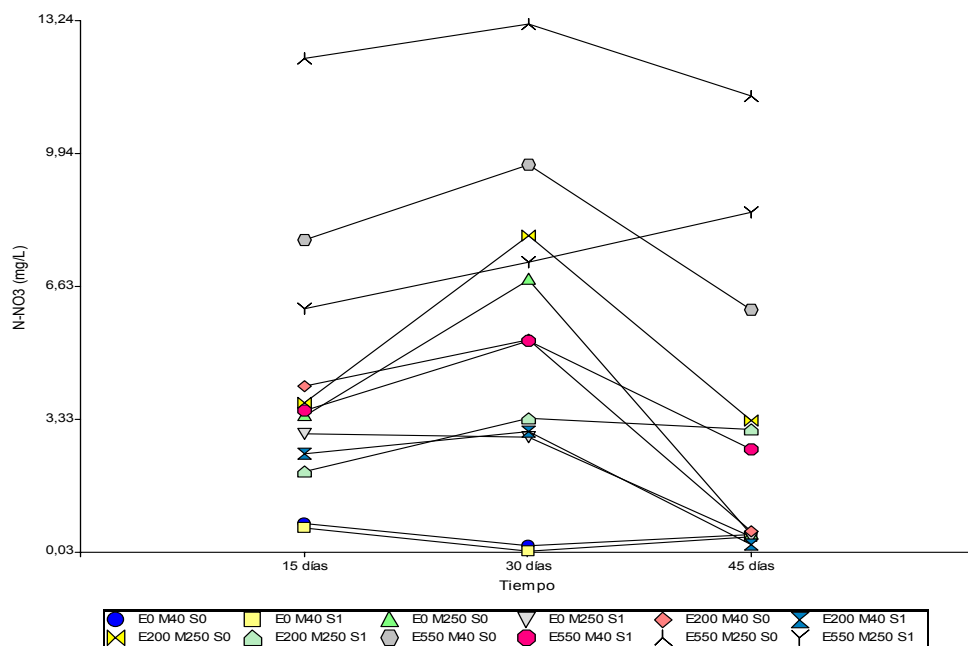


Figura 5. Variación del $N-NO_3$ a través del tiempo durante el proceso de elaboración del FOF en laboratorio

4.2.1.4 Fósforo

El análisis químico mostró que existe una interacción significativa entre melaza y suero ($p = 0,0062$) para fósforo. Sin embargo, dado que esta interacción es del tipo sin cambio de rango, en el Anexo 19 se presentan las diferencias de medias. Se encontró efecto de estiércol ($p < 0,0001$), de melaza ($p = 0,0082$) y de suero ($p < 0,0001$). La cantidad de fósforo en el fertilizante con 550 gramos de estiércol fue superior que la del fertilizante con 0 y 200 gramos (500,00, 369,89 y 294,68 respectivamente). Con respecto a la melaza, el fertilizante con 250 cc de melaza presentó una mayor cantidad de fósforo que el fertilizante con 40 cc (410,66 y 365,72 respectivamente). Y finalmente, el fertilizante con suero presentó una mayor cantidad de fósforo que el fertilizante sin suero (579,94 y 196,43 respectivamente; Cuadro 13, Figura 6 y Anexo 19).

Cuadro 13. Resultados promedio del análisis químico de los FOF elaborados en laboratorio, realizado a los 45 días, para fósforo, potasio, calcio y magnesio.

FOF	P		K		Ca		Mg	
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
$E_0 M_{40} S_0$	69,0	0,0069	206,5	0,0207	531,1	0,0531	117,5	0,0118
$E_0 M_{40} S_1$	470,3	0,0470	1755,1	0,1755	755,7	0,0756	142,9	0,0143
$E_0 M_{250} S_0$	150,5	0,0151	3212,0	0,3212	1327,6	0,1328	230,5	0,0231
$E_0 M_{250} S_1$	489,1	0,0489	4714,7	0,4715	1409,3	0,1409	288,7	0,0289
$E_{200} M_{40} S_0$	156,7	0,0157	458,9	0,0459	657,5	0,0658	161,3	0,0161
$E_{200} M_{40} S_1$	595,6	0,0596	2248,4	0,2248	940,4	0,0940	235,0	0,0235
$E_{200} M_{250} S_0$	213,2	0,0213	3728,2	0,3728	1307,2	0,1307	304,2	0,0304
$E_{200} M_{250} S_1$	514,1	0,0514	5293,0	0,5293	1593,3	0,1593	361,8	0,0362
$E_{550} M_{40} S_0$	225,7	0,0226	631,0	0,0631	776,2	0,0776	255,8	0,0256
$E_{550} M_{40} S_1$	677,1	0,0677	2053,4	0,2053	1164,2	0,1164	329,5	0,0330
$E_{550} M_{250} S_0$	363,7	0,0364	4060,9	0,4061	1674,8	0,1675	435,5	0,0436
$E_{550} M_{250} S_1$	733,6	0,0734	4531,2	0,4531	2042,5	0,2043	486,2	0,0486

E = estiércol, M = melaza, S = suero

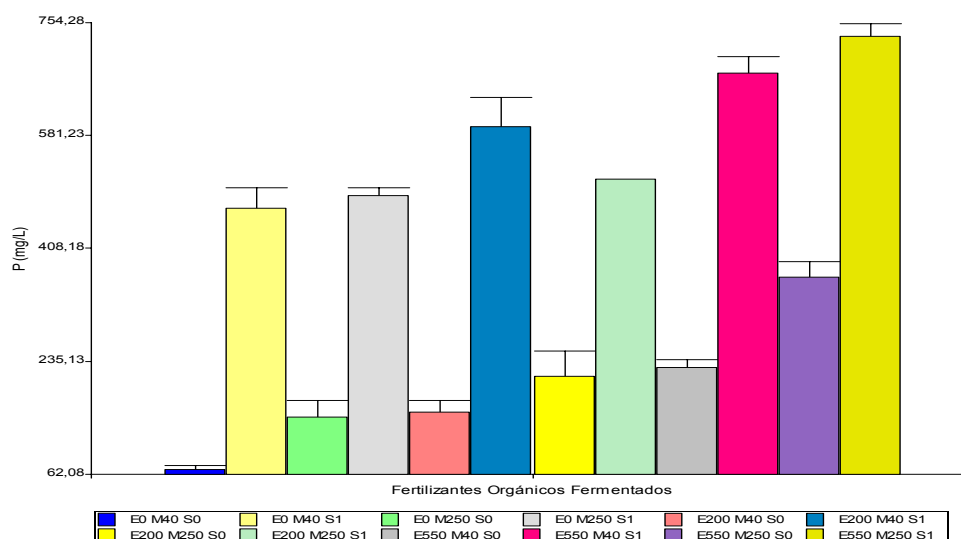


Figura 6. Cantidad promedio y error estándar del contenido de fósforo para cada FOF

4.2.1.5 Potasio

En el caso del potasio, el análisis químico mostró que no existe una interacción significativa entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero). Se encontró efecto de melaza ($p < 0,0001$) y de suero ($p < 0,0001$). El fertilizante con 250 cc de melaza presentó una mayor cantidad de potasio que el fertilizante con 40 cc (4213,83 y 1225,53 respectivamente). Además, el fertilizante con suero presentó una mayor cantidad de potasio que el fertilizante sin suero (3389,79 y 2049,57 respectivamente; Cuadro 13, Figura 7 y Anexo 20).

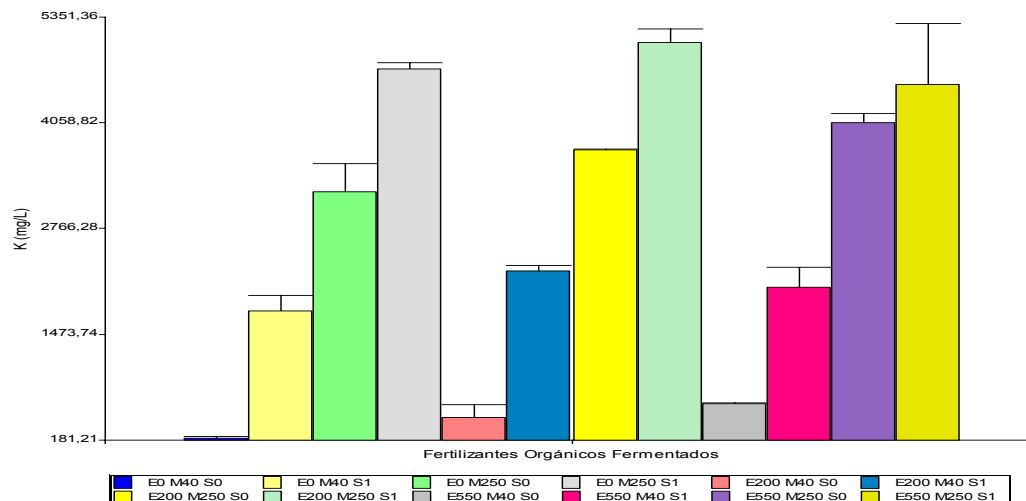


Figura 7. Cantidad promedio y error estándar del contenido de potasio para cada FOF

4.2.1.6 Calcio

En el caso del calcio, el análisis químico mostró que no existe una interacción significativa entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero). Se encontró efecto de estiércol ($p < 0,0001$), de melaza ($p < 0,0001$) y de suero ($p = 0,0001$). La cantidad de calcio en el fertilizante con 550 gramos de estiércol fue superior a la del fertilizante con 0 y 200 gramos. Con respecto a la melaza, el fertilizante con 250 cc de melaza presentó una mayor cantidad de calcio que el fertilizante con 40 cc (1559,09 y 804,17, respectivamente). Y finalmente, el fertilizante con suero presentó una mayor cantidad de calcio que el fertilizante sin suero (Cuadro 13, Figura 8 y Anexo 21).

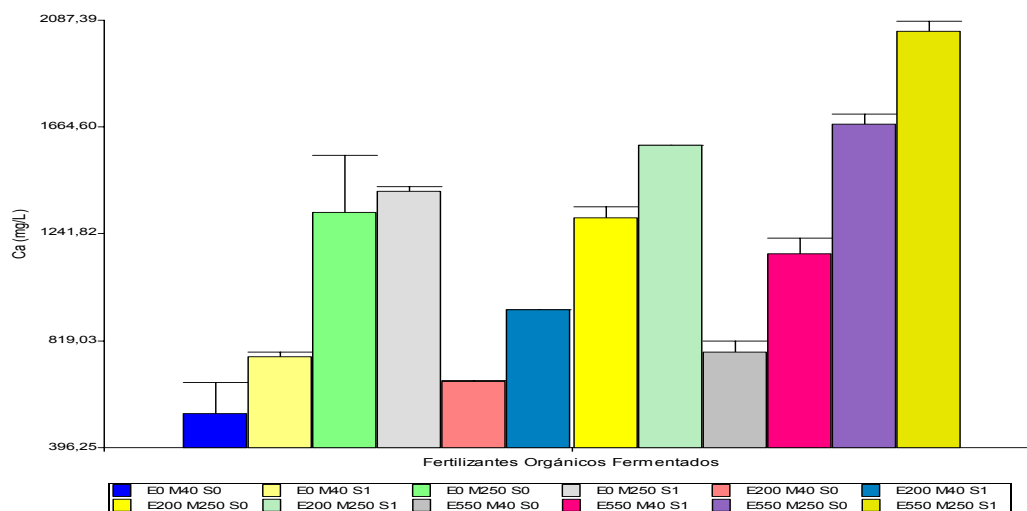


Figura 8. Cantidad promedio y error estándar del contenido de calcio para cada FOF

4.2.1.7 Magnesio

Para el caso del magnesio, el análisis químico mostró que no existe una interacción significativa entre los ingredientes (estiércol, melaza y suero). Sin embargo, se encontró efecto de estiércol ($p < 0,0001$), de melaza ($p < 0,0001$) y de suero ($p = 0,0001$). La cantidad de magnesio en el fertilizante con 550 gramos de estiércol fue superior que la del fertilizante con 0 y 200 gramos. Con respecto a la melaza, el fertilizante con 250 cc de melaza presentó una mayor cantidad de magnesio que el fertilizante con 40 cc. Y finalmente, el fertilizante con suero presentó una mayor cantidad de magnesio que el fertilizante sin suero (Cuadro 13, Figura 9 y Anexo 22).

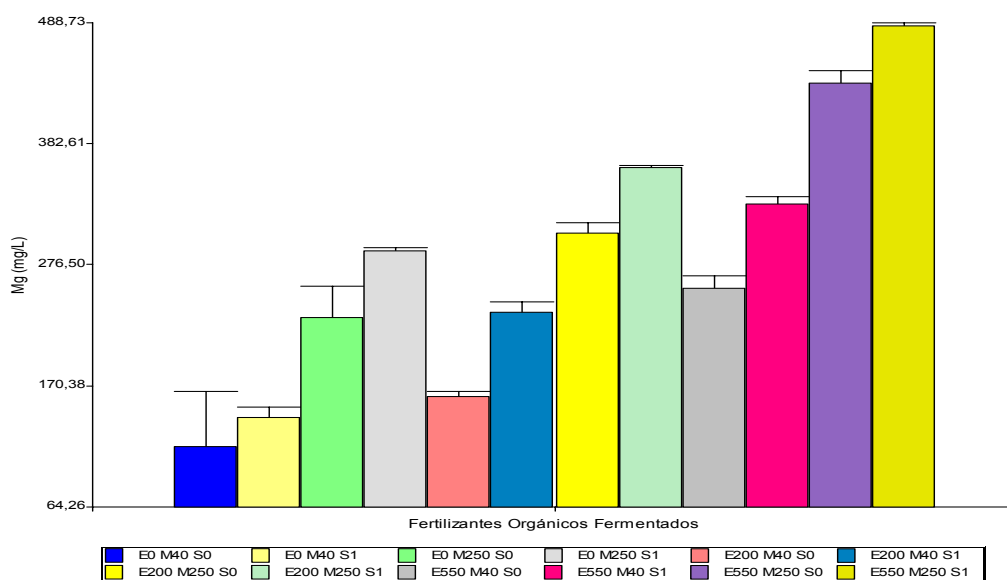


Figura 9. Cantidad promedio y error estándar del contenido de magnesio para cada FOF

4.2.2 Análisis microbiológico y evaluación de inocuidad

4.2.2.1 Coliformes

Ningún fertilizante presentó contaminación con coliformes totales (Cuadro 14). Por lo tanto, no se realizó el análisis estadístico (Anexos 22 y 23).

Cuadro 14. Resultados promedio de análisis microbiológico de los FOF elaborados en laboratorio.

FOF	Coliformes totales (NMP/100ml)	Lactobacillus (UFC/ml)
$E_0M_{40}S_0$	2	262500000
$E_0M_{40}S_1$	2	22000000
$E_0M_{250}S_0$	2	98000000
$E_0M_{250}S_1$	2	29500000
$E_{200}M_{40}S_0$	2	11500000
$E_{200}M_{40}S_1$	2	6500000
$E_{200}M_{250}S_0$	2	22500000
$E_{200}M_{250}S_1$	2	8135000
$E_{550}M_{40}S_0$	2	142500000
$E_{550}M_{40}S_1$	2	86500000
$E_{550}M_{250}S_0$	2	35000000
$E_{550}M_{250}S_1$	2	4500000

E = estiércol, M = melaza, S = suero, NMP = Número Más Probable, UFC = Unidades Formadoras de Colonias

4.2.2.2 Lactobacillus

El análisis microbiológico indicó la presencia de *Lactobacillus* en los FOF preparados en el laboratorio, en cantidades que variaron desde los 270000 UFC/ml hasta los 500000000 UFC/ml (Cuadro 14). Sin embargo, no se detectaron interacciones significativas entre los ingredientes principales (estiércol, melaza y suero) y la población de *Lactobacillus* al final del ciclo de producción. Tampoco se encontró efecto de los ingredientes principales (Anexo 24). Sin embargo, sí se observaron correlaciones significativas con el pH (pH/15 días: $r = 0,74$, $p < 0,0001$; pH/30 días: $r = 0,68$, $p = 0,0003$; pH/45 días: $r = 0,45$, $p = 0,0300$; Anexo 23). Esta correlación se da en un rango de pH de 3,5 a 4,3.

4.2.3 Evaluación de fitotoxicidad (Prueba de germinación)

El porcentaje de germinación en los tratamientos que recibieron la aplicación de una dosis del 2,5 % de los FOF preparados en el laboratorio fue en promedio del 81,6 %, mientras que los que recibieron una dosis del 10 % tuvieron una germinación promedio del 75,4 % (Cuadro 15).

Cuadro 15. Tasa de germinación (%) de semillas de repollo (*Brassica olearacea*) tratadas con los FOF elaborados en laboratorio; con dosis aplicadas: 2,5 % y 10 %. Los valores representan el promedio de tres repeticiones.

Tratamientos (2,5 %)	Germinación	Tratamientos (10 %)	Germinación
2,5 $E_0M_{40}S_0$	79,3	10 $E_0M_{40}S_0$	74,0
2,5 $E_0M_{40}S_1$	57,3	10 $E_0M_{40}S_1$	74,0
2,5 $E_0M_{250}S_0$	70,0	10 $E_0M_{250}S_0$	62,7
2,5 $E_0M_{250}S_1$	86,7	10 $E_0M_{250}S_1$	59,3
2,5 $E_{200}M_{40}S_0$	82,7	10 $E_{200}M_{40}S_0$	82,0
2,5 $E_{200}M_{40}S_1$	80,0	10 $E_{200}M_{40}S_1$	66,7
2,5 $E_{200}M_{250}S_0$	86,7	10 $E_{200}M_{250}S_0$	80,0
2,5 $E_{200}M_{250}S_1$	88,0	10 $E_{200}M_{250}S_1$	79,3
2,5 $E_{550}M_{40}S_0$	86,0	10 $E_{550}M_{40}S_0$	86,7
2,5 $E_{550}M_{40}S_1$	86,0	10 $E_{550}M_{40}S_1$	80,0
2,5 $E_{550}M_{250}S_0$	89,3	10 $E_{550}M_{250}S_0$	81,3
2,5 $E_{550}M_{250}S_1$	87,3	10 $E_{550}M_{250}S_1$	79,3
Promedio (2,5 %)	81,6	Promedio (10 %)	75,4
Agua (testigo)	69,3	ECO-HUM DX (testigo)	47,3

E = estiércol, M = melaza, S = suero, ECO-HUM DX = fertilizante orgánico comercial

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). En los fertilizantes elaborados en el laboratorio, el fertilizante $E_0M_{40}S_1$ con dosis del 2,5 % tuvo la menor media de germinación (57,33 %), mientras que el fertilizante $E_{550}M_{250}S_0$ presentó la mejor media de germinación (89,33 %). Por su parte, en los tratamientos a los que se aplicaron FOF con dosis del 10 %, la menor media de germinación se observó en el tratamiento que recibió el fertilizante $E_0M_{250}S_0$, (59,33 %), mientras que la mayor media de la presentó el tratamiento que recibió el fertilizante $E_{550}M_{40}S_0$ (86,67 %). Ambos testigos, agua y ECO-HUM DX, presentaron medias de germinación inferiores al 70 % (Cuadro 15 y Anexo 25).

4.2.4 Ensayo en invernadero

De los tratamientos con los diferentes fertilizantes con dosis de fertilizante del 2,5 %, las plántulas que mostraron el mayor aumento promedio en altura (35,4 cm) fueron las tratadas con el fertilizante $E_0M_{250}S_1$. Por el contrario, con dosis del 10 %, las plántulas que mostraron el mayor aumento promedio (31,1 cm) fueron las tratadas con el fertilizante $E_{550}M_{250}S_1$. El menor aumento se observó en plántulas del tratamiento con el fertilizante $E_{550}M_{250}S_1$ con dosis del 2,5 % (26,2 cm) y del tratamiento con fertilizante $E_{200}M_{40}S_1$ con

dosis del 10 % (27,4 cm; Cuadro 16). Sin embargo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos para la variable altura (Anexo 26).

Cuadro 16. Promedio de crecimiento total (última medición – medición inicial) de los tratamientos a los que se les aplicaron los distintos fertilizantes (Suelo + 5 % de compost + 2,5 % y 10 % de FOF) en el ensayo de la Fase 2.

Tratamientos (2,5 %)	Altura (cm)	# de Hoja	Tratamientos (10 %)	Altura (cm)	# de Hoja
$E_0M_{40}S_0$	31,0	7,4	$E_0M_{40}S_0$	29,7	8,2
$E_0M_{40}S_1$	28,8	7,6	$E_0M_{40}S_1$	30,8	7,2
$E_0M_{250}S_0$	32,2	7,8	$E_0M_{250}S_0$	28,0	8,2
$E_0M_{250}S_1$	35,4	7,6	$E_0M_{250}S_1$	28,8	7,2
$E_{200}M_{40}S_0$	28,6	7,0	$E_{200}M_{40}S_0$	28,5	7,4
$E_{200}M_{40}S_1$	32,1	7,6	$E_{200}M_{40}S_1$	27,4	7,8
$E_{200}M_{250}S_0$	30,2	8,0	$E_{200}M_{250}S_0$	29,3	7,0
$E_{200}M_{250}S_1$	29,1	7,6	$E_{200}M_{250}S_1$	30,5	7,0
$E_{550}M_{40}S_0$	29,4	8,2	$E_{550}M_{40}S_0$	31,0	8,0
$E_{550}M_{40}S_1$	30,6	8,2	$E_{550}M_{40}S_1$	29,2	6,4
$E_{550}M_{250}S_0$	30,8	7,4	$E_{550}M_{250}S_0$	27,9	7,4
$E_{550}M_{250}S_1$	26,2	7,0	$E_{550}M_{250}S_1$	31,1	7,6
Promedio (2,5 %)	30,4	7,6	Promedio (10 %)	29,4	7,5
Agua (testigo)	29,0	7,8	<i>ECO-HUM DX</i> (testigo)	30,8	7,6

E = estiércol, M = melaza, S = suero, *ECO-HUM DX* = fertilizante orgánico comercial

El mayor aumento del número de hojas se observó en los tratamientos de los fertilizantes $E_{550}M_{40}S_0$ y $E_{550}M_{40}S_1$ con dosis del 2,5 %, alcanzando en ambos casos un promedio a 8,2 hojas. Un aumento promedio similar (8,2 hojas) se observó en los tratamientos con los fertilizantes $E_0M_{40}S_0$ y $E_0M_{250}S_0$ con dosis del 10 %. El menor aumento (7,0 hojas en promedio) se observó en plántulas que fueron tratadas con los fertilizantes $E_{200}M_{40}S_0$ y $E_{550}M_{250}S_1$ con dosis del 2,5 %; y en plántulas del tratamiento con el fertilizante $E_{550}M_{40}S_1$ con dosis del 10 % (6,4 hojas en promedio; Cuadro 16). Sin embargo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos para el número de hojas (Anexo 27).

5 DISCUSIÓN

5.1 Fertilización foliar

Aunque la importancia de la absorción foliar de agua a través de tricomas especializados es reconocida en algunas plantas, como por ejemplo las bromelias, la capacidad de las hojas de las plantas en general para realizar absorción foliar de solutos es aún debatida (Gutiérrez 2002). Sin embargo, la evidencia a favor de un papel de las hojas en la captura de materias tanto orgánicas como inorgánicas es considerable y los estudios fisiológicos indican que las hojas pueden actuar como superficies para la absorción de fertilizantes foliares (Yamada *et al.* 1964, Noggle y Fritz 1983, Taiz y Zeiger 1991, Gutiérrez 2002, Salas 2002a, Molina 2002, Arauz 2003).

Si bien algunos autores, como por ejemplo Salas (2002b), mencionan que la justificación de la fertilización foliar se da solamente cuando existe una limitante muy severa a nivel radicular que afecta la absorción y eficiencia de los nutrimentos aplicados al suelo, otros (Taiz y Zeiger 1991, Arauz 2003) mencionan que la fertilización foliar es en ocasiones preferible porque reduce el tiempo que transcurre entre la aplicación del fertilizante y la absorción por parte de la planta. La fertilización foliar se encuentra ampliamente difundida entre los agricultores orgánicos de Costa Rica, fundamentalmente en el caso de hortalizas (Rodríguez y Soto 1999, Barquero 2002), plantas ornamentales (Salas 2002b), cítricos (Barquero 2002), mango, (Ríos y Corella 1999), piña (Barquero 2002), banano (Gúzaman 1995, Barquero 2002) y café (Chaves 1999). Los agricultores orgánicos de la región central de Costa Rica que participaron de este estudio se dedican a la producción de hortalizas y café.

5.2 Aspectos generales del proceso de elaboración de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF)

La mayoría de los agricultores mencionaron que aprendieron a preparar los FOF basándose fundamentalmente en las recetas publicadas por Restrepo (2000 y 2001); y bajo la tutela de otros agricultores que poseían experiencia previa en el tema. Posteriormente, basados en su práctica fueron adaptando las recetas, para crear así un fertilizante con una función más amplia y acorde a las necesidades de sus cultivos. Esta misma técnica de adaptar las recetas básicas también es utilizada por los campesinos de toda Latinoamérica (Restrepo 2001). Hay

que tomar en cuenta que en este proceso de adaptación de las recetas los agricultores empezaron a utilizar los ingredientes que podían encontrar más cerca de sus fincas, con mayor facilidad y a menores precios. Esto implica, por una parte una reducción en los costos de producción, pero también la posibilidad de que se dieran diferencias significativas en los productos finales al utilizar materiales distintos. De esta manera, tal vez existan casi tantas recetas de fertilizantes orgánicos como agricultores que las elaboran. Sin embargo, los agricultores encuestados coincidieron en la utilización de una serie de ingredientes básicos, tales como estiércol bovino y/o lombricompost, melaza y suero o leche cruda. La utilización de dichos ingredientes está basada, fundamentalmente, en la disponibilidad de los mismos en las fincas. Esto último representa una práctica común entre los agricultores que producen sus propios fertilizantes orgánicos (Duicela *et al.* 2003, Restrepo 2001). Además, todos los agricultores también utilizaron agua, la cual es de suma importancia en la elaboración de todo fertilizante orgánico líquido, pues tanto el exceso como su falta son perjudiciales (Duicela *et al.* 2003). Y finalmente, la mayoría de los agricultores enriqueció sus FOF mediante la adición de ingredientes opcionales, como por ejemplo sales minerales y microorganismos. Por esto puede pensarse que a pesar de las diferentes condiciones de cada agricultor, existe una base común para todas las recetas; y que las diferencias encontradas pueden deberse mayormente a la adición de ingredientes opcionales.

Algunos de los aspectos generales relacionados con el proceso de elaboración de los FOF, tales como tipo de recipiente y lugar, merecen especial atención. Con respecto al recipiente, todos los agricultores encuestados utilizaron un estañón de plástico de 200 litros de capacidad. Restrepo (2001) recomienda el uso de dichos recipientes para evitar problemas debido a la acidez del fertilizante; y además porque son muy útiles por su capacidad, resistencia y precio. Con relación al lugar de elaboración, todos los agricultores prepararon sus fertilizantes en un espacio techado, ya sea con o sin paredes. El elaborar y mantener el fertilizante bajo techo ayuda a evitar la acción de la luz solar. Esto es fundamental para lograr una fermentación correcta debido a que la luz directa del sol puede aumentar la temperatura del fertilizante y así eliminar los microorganismos eficaces (Ohgaki 2004). El mismo autor también menciona que durante el proceso de fermentación en realidad se debe tratar de evitar todo tipo de luz, ya que ésta acelera el proceso de oxidación de las materias orgánicas y por lo

tanto su pudrición; además, la luz de onda corta, como la luz ultra violeta, es mortal para los microorganismos.

Otro factor de importancia mencionado por los agricultores fue el cuidado que se debe tener para evitar la aireación del fertilizante durante el proceso de fermentación. Todos los agricultores encuestados demostraron tener un conocimiento empírico sobre las condiciones ideales que permiten una correcta fermentación. Esto es, para que se produzca una fermentación adecuada se debe estar en presencia de un ambiente anóxico (Restrepo 2001, Starr 1997). Respecto a los puntos anteriores, en general se observó un correcto manejo en casi todas las áreas, sin embargo los fracasos observados en la elaboración de los FOF estuvieron dados, en parte, por un inadecuado control de la condición de las válvulas que permiten la salida de los gases y “accidentes” durante el proceso de fermentación que pusieron a los fertilizantes en contacto con aire. Esto evidencia que aún no se han dominado en su totalidad los aspectos técnicos que influyen en la calidad del producto final y en algunas ocasiones no se tiene el cuidado necesario durante la preparación.

Todos los agricultores encuestados aplicaron los FOF al follaje de sus cultivos con dos fines diferentes. Primero, los utilizaron fundamentalmente como medidas de corrección (para superar deficiencias evidentes de nutrimentos), prevención (cuando conocían de la deficiencia de un determinado nutrimento en el suelo) y/o como complemento a los abonos colocados en el suelo. Actualmente se reconoce que la nutrición foliar puede sólo complementar y en ningún momento sustituir la fertilización del suelo (Molina 2002), ya que las dosis que se pueden suministrar por vía foliar son muy bajas. Además, resulta un medio eficaz durante etapas críticas del cultivo o de gran demanda nutricional (Molina 2002). Segundo, los agricultores también utilizaron los FOF como plaguicidas y funguicidas. La noción de que los fertilizantes orgánicos líquidos cumplen una función importante para el combate de enfermedades foliares en diversos cultivos se encuentra ampliamente difundida (Lec *et al.* 2000, Restrepo 2001, Andrew 2002, Arauz 2003).

5.3 Análisis químico

La conductividad eléctrica (CE) de una solución está directamente relacionada con el total de sólidos disueltos en forma de iones; y cuanto más alto es el valor de los mismos mayor es la CE de dicha solución (Molina 2002). Por otra parte, el pH tiene una gran

influencia en la solubilidad de los productos que se mezclan y en la disponibilidad de los nutrimentos para ser absorbidos por las hojas; las condiciones ideales de absorción de nutrimentos se dan cuando el valor del pH se mantiene en un rango ligeramente ácido, de 5,5 a 6,5 (Molina 2002), mientras que cuando se dan condiciones moderadas o altas de basicidad se forman precipitados (Segura 2002). En este estudio se observó cierta correlación entre el pH y la CE; esto es, cuando el valor de pH aumentó la CE disminuyó. Entonces, visto desde el punto de vista del pH, se puede pensar que un pH bajo propicia una mayor cantidad de sólidos disueltos en forma de iones, es decir, una mayor cantidad de nutrimentos en el fertilizante, además de una mayor solubilidad, todo lo cual se ve reflejado en valores de CE altos. El aumento de pH fue observado cuando los fertilizantes, tanto aquellos elaborados por los agricultores como los preparados en el laboratorio, entraron en contacto con aire. Takahashi y Umemoto (2005) también encontró una relación similar entre los valores de pH y CE. Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, se puede pensar que hay una relación muy importante entre los factores que pueden influir en los niveles de pH, tales como el contacto con el aire y otros como la participación de microorganismos sobre los que se discutirá posteriormente, la calidad nutrimental y la solubilidad del fertilizante.

El nitrógeno es un elemento de particular importancia en las zonas tropicales, donde su eficiencia es baja (Primavesi 1984). Este elemento es el más comúnmente utilizado en la fertilización de cultivos, usualmente en formas inorgánicas que se aplican al suelo, mientras que las aspersiones foliares de N se utilizan como complemento a la fertilización edáfica (Barquero 2002). La aplicación foliar de N cumple dos funciones, por un lado sirve como nutrimento a la planta y por el otro sirve como facilitador para la penetración de otros iones disueltos en la solución (Barquero 2002). Además, la aplicación foliar de este elemento se justifica debido a que el mismo es fácilmente lixiviado del suelo, principalmente en forma de nitratos (NO_3^-), por ser un anión débilmente retenido y muy móvil (Primavesi 1984, Salas 2002b). La velocidad de absorción de las hojas depende del tamaño de las moléculas; por lo tanto, la tasa de absorción del nitrógeno por parte de las plantas es más elevada y rápida cuando el mismo se encuentra en forma de nitrato (NO_3^-) que cuando está presente en forma de amonio (NH_4^+) (Primavesi 1984, Furuya *et al.* 2001). Más aún, el nitrógeno amoniacal también es absorbido por las plantas, aunque más lentamente; sin embargo, una concentración mediana resulta tóxica, por lo cual exige una rápida metabolización para evitar su

acumulación en la sabia vegetal (Primavesi 1984). La ventaja es que el nitrógeno amoniacal es rápidamente oxidado a nitrógeno nítrico (Primavesi 1984). Por lo tanto, de lo anterior se desprende que es recomendable que se utilicen abonos foliares cuando los mismos presenten una concentración elevada de N en forma de nitrato, para así obtener mejores resultados en la absorción de N. Además, durante el periodo de almacenamiento Selke (1968) recomienda colocar una capa de aceite viejo o grasa sobre la superficie del fertilizante y sellar perfectamente el recipiente que lo contiene, para evitar pérdida de nitrógeno.

Durante el proceso de elaboración de los FOF en el laboratorio, se encontró que la cantidad de nitrógeno nítrico presente en un FOF posee su pico más alto antes de los 45 días de haberse comenzado el proceso de fermentación, luego de lo cual, en general, se observó una disminución de dicho elemento. Asimismo, se observó una disminución pronunciada de la cantidad de nitrógeno amoniacal al final del proceso (45 días), probablemente debida a que el mismo se transformó en nitrógeno nítrico, lo cual ha sido observado en estudios anteriores (Bolaños 2002). Cabe destacar aquí que, si bien el proceso anteriormente mencionado de NH_4^+ dio como resultado NO_3^- , la disminución de este último parece ser el resultado de su transformación en formas gaseosas de nitrógeno (desnitrificación), permitiendo así que escape del recipiente que contiene el fertilizante en forma de gas junto con los gases restantes que son expulsados durante el proceso de fermentación. Benzing (2001) y Salas (2002b) mencionan que una forma común de pérdida de N es a través del proceso de desnitrificación, que ocurre cuando el fertilizante nitrogenado, en particular en forma de nitrato, se convierte en formas gaseosas del N (N_2O , N_2), particularmente cuando hay falta de aireación. Incluso en el caso del fertilizante $E_{550}M_{250}S_1$, a pesar de contar con la concentración más alta de nitrógeno amoniacal al inicio, al finalizar el proceso presentó un nivel muy bajo. Con base en los resultados aquí discutidos se puede concluir que para aprovechar al máximo la cantidad de N en forma de nitrato de los FOF, éstos deben ser aplicados a los cultivos aproximadamente a partir de los 30 días de comenzado el proceso de fermentación. Sin embargo, los agricultores encuestados aplican sus fertilizantes, en promedio, a partir de los 45 días, cuando la cantidad de nitrógeno en forma de nitrato ya ha comenzado a disminuir, por lo cual su efectividad con respecto a este nutrimento en particular es menor. En cuanto al nitrógeno en forma de nitrato, a pesar de que en los fertilizantes comunes este tiende a lavarse con el agua, entrar al suelo y con esto esto causar contaminación, en el caso de los FOF al aplicarse foliarmente es

absorbido más rápidamente por la planta, evitando que sea lavado por precipitaciones de agua (Watanabe *et al.* 2002, Takeda 2003).

Se observaron correlaciones entre ME y N y levadura y N. Como la levadura y otros microorganismos como desnitrificadores tienen la capacidad de aprovechar el nitrógeno nítrico y amoniacal (Benzing 2001), era de esperarse que los niveles fueran más bajos. Esta correlación pudo deberse a que las mediciones de los niveles de nitrógeno amoniacal y nítrico se llevaron a cabo a los 15 días de iniciado el proceso, momento en el que los niveles de estos todavía eran muy altos. Posteriormente, debido a la acción de la levadura y los microorganismos se empezó a dar una disminución de estas formas de nitrógeno, alrededor de los 30 días.

La mayoría de los agricultores encuestados agregaron diferentes cantidades de una serie de ingredientes opcionales (macro y micronutrientes) a sus FOF, tales como sulfato de potasio, roca fosfórica, Borax y sulfato de zinc, entre otros, con lo que se aportó K^+ (ion potasio), $H_2PO_4^-$ (ion dihidrógeno fosfato), Ca^{2+} (ion calcio), BO_3^{-3} (borato) y Zn^{2+} (ion zinc). Todos estos elementos resultan de suma importancia ya que las interrelaciones son estrechas; por ejemplo, cuánto más nitrógeno (macroelemento) se usa, tanto más cobre (microelemento) se necesita (Primavesi 1984). Por otro lado, algunos agricultores también utilizaron otros ingredientes, como arena de mar, ceniza, agua de pipa, vinagre de guineo y plantas verdes. La elección de cuales ingredientes y en que cantidades debían utilizarse no estuvo solamente dada por las recetas de Restrepo (2000, 2001) que los agricultores usan, sino también porque ellos poseen resultados de análisis químicos realizados al suelo de sus fincas que les permiten conocer cuales son sus carencias; y porque conocen por experiencia previa cuáles son las demandas nutricionales de sus cultivos.

Con respecto a los microelementos (elementos esenciales que la planta requiere en cantidades relativamente pequeñas), su función es variable, aunque presentan un alto contenido de enzimas que mejoran los procesos anabólicos en las hojas (Nichiaki s.f.). Estos micronutrientes presentan la particularidad de ser escasos en suelos tropicales arenosos y arcillosos cultivados durante años (Primavesi 1984). Además, la interrelación entre los microelementos es muy delicada; así, por ejemplo una fertilización con boro moviliza manganeso y zinc, aunque es necesaria también una aplicación extra de cobre ya que su

absorción es bloqueada por el boro (Tölyesi 1964, citado por Primavesi 1984). Por lo tanto, es de fundamental importancia que los cultivos reciban estos micronutrientes. Sin embargo, resulta muy difícil agregarlos al suelo con uniformidad y, tal como se mencionó anteriormente, las plantas requieren de dosis demasiado bajas por lo que su aplicación vía foliar es más eficiente (Salas 2002b). En relación a este tema, la empresa de abonos líquidos Nichieki menciona que en el caso del cultivo de tomate hidropónico, los micronutrientes no se pueden aplicar al suelo directamente y solo se deben aplicar en forma foliar. A pesar de que el ejemplo anteriormente mencionado se refiere a un cultivo hidropónico y considerando las pérdidas de micronutrientes, por ejemplo por lixiviado, las dosis que están siendo aplicadas por los agricultores encuestados en este estudio parecerían ser demasiado altas.

En relación a los otros ingredientes opcionales, tales como arena de mar y ceniza de plantas, utilizados por los agricultores para preparar sus FOF, resulta interesante destacar la arena de mar. En el caso en el que la misma fue utilizada como ingrediente, no se agregaron sales minerales al fertilizante durante el proceso de fermentación. Sin embargo, el análisis químico reveló cantidades elevadas de sulfato de hierro, cobre, zinc y manganeso en el fertilizante y una correlación significativa entre el agregado de arena de mar y las cantidades de estos elementos. Este resultado parecería indicar que la arena de mar es un ingrediente valioso, ya que presenta varios de los elementos minerales necesarios para la elaboración de un FOF. El hierro abunda en los sedimentos marinos, en forma de hierro metálico como carbonato ferroso, sulfato o sulfuro de hierro. Suele encontrarse el hierro en forma de hematina (Fe_2O_3), magnetita, ilmenita y otros óxidos de metales (García 2001). También suele encontrarse manganeso y cobre en cantidades menores (Cifuentes *et al.* 1997). La ceniza de plantas también es importante, pues en ella existen elementos tales como el sodio, cloro y silicio, los cuales pueden tener un rol valioso en los procesos fisiológicos de ciertas plantas (Selke 1968).

5.4 Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos, tanto de los FOF elaborados por los agricultores como de aquellos producidos experimentalmente en el laboratorio, mostraron que sólo un fertilizante poseía coliformes totales y *Escherichia coli*, sin embargo, cabe destacar que los valores encontrados de estos microorganismos estuvieron muy por debajo de los límites máximos de

poblaciones de coliformes establecidos por los criterios de la *Environmental Protection Agency* (EPA) para compost. Es importante destacar que hasta la fecha no se han establecido límites de poblaciones de patógenos para FOF. Esto implica que el producto final casi en la mayoría de los casos está libre de contaminación de este patógeno y se puede afirmar que son seguros para su aplicación en cultivos de consumo humano. Si bien el procedimiento para la fermentación utilizado por el agricultor que elaboró el FOF que presentó tanto coliformes totales como *E. coli* fue correcto, la limpieza y almacenamiento inadecuados de algunas de las herramientas utilizadas posteriormente a finalizado el producto, pueden haber sido la fuente de contaminación. Estos resultados son congruentes con los reportados para un estudio del lixiviado de lombricompost de estiércol realizado en CATIE (Larco 2004) y para una evaluación de la inocuidad de biofermentos a base de boñiga (Uribe 2003). Coincidentemente con lo reportado por Uribe (2003), es probable que el bajo pH (3,83 en promedio) y las condiciones de anaerobiosis hayan sido las responsables de la ausencia de coliformes en la mayoría de los FOF analizados.

Uribe (2003) menciona la posibilidad de utilizar el pH de los FOF como un indicador de calidad, ya que los fertilizantes evaluados en ese estudio mostraron coliformes cuando el valor de pH fue mayor de 6. En relación con este tema, cabe mencionar que el FOF elaborado por uno de los agricultores que participaron en este estudio mostró un pH de 7, aunque el análisis microbiológico determinó la ausencia de coliformes en el mismo. Sin embargo, esta observación no contradice los hallazgos de Uribe (2003), ya que el aumento de pH se debió probablemente a que el fertilizante entró en contacto con aire durante un período prolongado (\approx 3 días) a aproximadamente los 30 días de comenzado el proceso de fermentación. Pero, dado que las condiciones de fermentación anteriores al “accidente” descrito probablemente hayan sido las correctas y que el fertilizante no entró en contacto con ninguna fuente contaminante durante su exposición al aire, permaneció libre de coliformes.

Ninguno de los fertilizantes analizados presentó *Salmonella*. La ausencia de *Salmonella* en fertilizantes orgánicos de Costa Rica ya había sido reportada con anterioridad (por ejemplo, Uribe 2003, Larco 2004). Esto resulta de suma importancia dado que la ausencia de dicho microorganismo es uno de los requisitos indispensables requeridos por la IFOAM sobre los que se basan los estándares básicos mundiales de calidad en alimentos orgánicos (Larco 2004).

El género *Lactobacillus* incluye un grupo de bacterias facultativas, usualmente benignas, que habitan los cuerpos de humanos y animales (fundamentalmente en el tracto gastrointestinal) y ocurren naturalmente en una variedad de alimentos (Foster *et al.* 1957). Al igual que en los resultados reportados por Uribe (2003), todos los FOF que fueron analizados en este estudio contenían poblaciones de *Lactobacillus*. Además, todos los fertilizantes, excepto dos, fueron analizados a los 45 días o más de haber comenzado el proceso de fermentación y en todos ellos el número de colonias observado fue elevado. Los dos fertilizantes que mostraron un número de colonias de *Lactobacillus* muy bajo fueron analizados luego de sólo 15 días de haber comenzado el proceso de fermentación. Este reducido número de colonias tal vez pueda explicarse a través de uno de los siguientes argumentos, o quizás mediante una combinación de ambos. Primero, en algunas ocasiones a pesar que las bacterias se encuentran en un medio adecuado y a temperatura favorable, necesitan que transcurra cierto tiempo antes que comiencen a multiplicarse a ritmo máximo (Foster *et al.* 1957). Segundo, posiblemente los dos fertilizantes con baja cantidad de colonias de *Lactobacillus* recibieron cierta cantidad de microorganismos por el agregado de EM, MM y levaduras. Según Miura (2001) en la fermentación por microorganismos aeróbicos cuando se empieza a dar una disminución del oxígeno también se da una disminución en la actividad de estos. Es a partir de este momento que comienza la actividad de *Lactobacillus*, los que aprovechan la glucosa disponible produciendo como resultado ácido láctico. Este proceso a su vez resulta en una disminución del pH. Por esto si en la primera etapa hay una cantidad excesiva de microorganismos, puede resultar en un ambiente con poca glucosa disponible y niveles de pH no aptos para la actividad de *Lactobacillus*.

Es importante destacar la correlación significativa encontrada entre *Lactobacillus* y el pH. Según Ishikawa *et al.* (2002) debido a la actividad de *Lactobacillus* puede darse una disminución del pH, debido a la producción de ácidos como el ácido láctico y los ácidos grasos de cadenas cortas. Por esto puede pensarse que *Lactobacillus* juega un papel importante en el control del pH. Aunque en el presente estudio no se observó claramente esta relación, en general los niveles de pH se mantuvieron cercanos al 4.2, lo suficiente para que la fermentación se estabilizara (Miura 2001).

5.5 Pruebas de germinación y evaluación de fitotoxicidad

Las pruebas de germinación se utilizan habitualmente como un indicador para determinar la presencia de sustancias fitotóxicas en un fertilizante orgánico (Uribe 2003) lo cual es de fundamental importancia en las aplicaciones foliares (Salas 2002b). Las pruebas de fitotoxicidad realizadas durante la Fase 1 de este estudio mostraron que los FOF elaborados por los agricultores presentan cierta toxicidad cuando se los utiliza para aplicación foliar en una dosis del 10 % (promedio de germinación \approx 50 %). Por el contrario, la fitotoxicidad disminuyó cuando los mismos fertilizantes se utilizaron en una dosis del 2,5 % (promedio de germinación \approx 85 %). Por su parte, los resultados de germinación obtenidos en la Fase 2 mostraron que con una dosis de aplicación del 10 %, los fertilizantes elaborados experimentalmente en el laboratorio fueron menos fitotóxicos (promedio de germinación \approx 75 %) que los de la Fase 1, mientras que con dosis de aplicación del 2,5 % tuvieron un porcentaje de germinación (82 %) similar al de la Fase 1. La diferencia de fitotoxicidad observada en la dosis del 10 % entre los fertilizantes elaborados por los agricultores versus aquellos elaborados en el laboratorio probablemente se deba a que los primeros son fertilizantes enriquecidos (elaborados con estiércol, suero, melaza y agua + macro y micronutrientes) mientras que los segundos son fertilizantes sencillos (solamente elaborados con distintas combinaciones y cantidades de estiércol, suero, melaza y agua) (siguiendo la definición de Restrepo 2001). Observando los datos sobre la cantidad de nitrógeno total, se da una pronunciada diferencia en los porcentajes de la Fase 1 y de la Fase 2. En general los fertilizantes de la Fase 1 presentan un porcentaje de nitrógeno total más alto que los de la Fase 2, lo que podría explicar la fitotoxicidad más alta de los fertilizantes de la Fase 1. A su vez, se puede pensar que este alto porcentaje de nitrógeno total en la Fase 1 puede deberse a la adición de algunos ingredientes opcionales. Esto también puede ser la razón de porque no se dieron diferencias significativas entre las dosis de la Fase 2, pues al ser el contenido de nitrógeno total de estos fertilizantes mucho menor, incluso en una concentración de 10 %, se puede pensar que no presenta problemas de fitotoxicidad.

Una germinación del 80 % se considera aceptable para hortalizas (Andrew 2002), además Uchiyama (2004) menciona que se utiliza un estándar de tasa de germinación mayor al 80 % para la evaluación de compost, con la metodología utilizada para el sustrato del compost. Por lo tanto, dados los porcentajes de germinación observados con dosis del 2,5 %, se puede pensar que no presenta problemas de fitotoxicidad.

se podría concluir que la misma no posee mayormente efectos fitotóxicos sobre el follaje. Aproximadamente el 50 % de los agricultores encuestados utilizó dosis de aplicación de sus fertilizantes en un rango de 0,4 a 2,8 %, mientras que los restantes utilizaron dosis de aplicación superiores al 4,5 % y hasta un máximo del 25 %. Dependiendo del tipo de cultivo, diferentes autores sugieren distintas dosis de fertilización foliar. Por ejemplo, Primavesi (1984) recomienda dosis que no sobrepasen del 1,2 % y Restrepo (2001) recomienda una dosis de aproximadamente el 5 %. Por su parte, Salas (2002b) menciona que la dosis máxima de aplicación depende del tipo de fertilizante y de gota de la aspersión. Esto es, en aspersiones que producen gotas grandes la dosis no debe exceder el 5 % mientras que con gotas pequeñas la dosis puede ser de hasta un 15 %. Por lo tanto, con base en los resultados obtenidos en los ensayos de germinación y considerando las recomendaciones mencionadas anteriormente, se podría concluir que muchos de los agricultores encuestados están utilizando dosis de aplicación foliar aceptables, aunque algunos estarían aplicando dosis que podrían ser fitotóxicas para sus cultivos.

5.6 Ensayos en invernadero

En términos generales, comparando los resultados de crecimiento (altura y número de hojas) obtenidos entre el primero y segundo ensayo de invernadero en la Fase 1 de este estudio, se observó un crecimiento promedio mayor generalizado de las plántulas de tomate del primer ensayo, sin mostrar diferencias entre tratamientos. Ambos ensayos fueron tratados con los FOF elaborados por los agricultores; y se llevaron a cabo bajo iguales condiciones de luz y humedad, pero con distintos porcentajes de compost agregados al suelo (20 % en el primer ensayo versus 5 % en el segundo ensayo). Sin embargo, para cada cultivo existe una concentración crítica de cada nutriente; plantas con concentraciones de nutrientes que se encuentran por debajo de la concentración crítica, en la denominada zona de deficiencia, son menos productivas que aquellas que presentan concentraciones de nutrientes dentro del denominado rango óptimo (Noggle y Fritz 1983, Primavesi 1984, Taiz y Zeiger 1991). Además, en un estudio sobre la influencia de los abonos orgánicos sobre el crecimiento de plántulas de café, Duicela *et al.* (2003) reportaron que la adición de compost al sustrato estimula la proliferación de raicillas, lo cual favorece la absorción de nutrientes. Por lo tanto, es probable que el agregado de un 15 % más de compost al suelo del primer ensayo

haya implicado que las plántulas de tomate crecieran en el rango óptimo de concentración de nutrimentos. De esta manera, es posible que la fertilización foliar no haya representado una diferencia significativa en el aporte de dichos nutrimentos a las plántulas, por lo cual no se observaron los resultados esperados.

En el segundo ensayo de invernadero de la Fase 1, en el cual como se menciona anteriormente el sustrato tenía un 5 % de compost, sí se observó una leve diferencia en el crecimiento de las plántulas entre los tratamientos que recibieron dosis de aplicación foliar del 10 % con respecto a aquellos que recibieron dosis del 2,5 %. Las plántulas tratadas con dosis del 10 % crecieron en promedio 4 cm más y tuvieron un promedio de 0,6 hojas más que las tratadas con dosis del 2,5 %.

En el ensayo de invernadero de la Fase 2, en el cual las plántulas de tomate fueron tratadas con los FOF elaborados en el laboratorio, tampoco se observaron diferencias entre tratamientos en el crecimiento. En este ensayo, el suelo también poseía un 5 % de compost y los tratamientos se llevaron a cabo bajo iguales condiciones de luz y humedad que los ensayos de la Fase 1. Sin embargo, al contrario de lo observado en el primer ensayo de la Fase 1, es probable que la falta de diferencia entre tratamientos en el ensayo de la Fase 2 se deba a que los fertilizantes utilizados fueron del tipo sencillo (según la definición de Restrepo 2001), sin el agregado de micro y/o macronutrimentos. Sin embargo, tanto el suero como la melaza y el estiércol presentan sólo algunos de los elementos críticos. Por ejemplo, el estiércol bovino posee fundamentalmente nitrógeno, fósforo y potasio (Baier *et al.* 1994, Tamari 1999, Larco 2004). Por lo tanto, dado que como se menciona anteriormente la cantidad del compost agregado al suelo probablemente sólo mantuvo a las plantas por debajo de o alrededor de la concentración crítica de nutrimentos, el complemento de macro y micronutrimentos debería haber sido provisto a través de la fertilización foliar. Sin embargo, es posible que no se hayan observado los resultados esperados debido a que los FOF utilizados en este ensayo probablemente carecían de todos los elementos que las plantas requerían para completar su nutrición.

Finalmente, es importante destacar que en ninguno de los ensayos realizados se observaron síntomas de fitotoxicidad (defoliación, crecimiento anormal, manchas necróticas; Wingeyer *et al.* 2005). Por lo tanto, a pesar que los resultados de las pruebas de germinación

muestran que una dosis de aplicación del 10 % de los fertilizantes elaborados por los agricultores presenta cierta fitotoxicidad para las semillas; y si bien distintos autores recomiendan en general dosis de aplicación de fertilizantes foliares relativamente bajas (Primavesi 1984, Restrepo 2001, Salas 2002b), los resultados de los ensayos de invernadero estarían indicando que esa dosis en realidad no es tóxica a nivel foliar, al menos en el caso de las plantas de tomate.

El hecho de que no se observaran diferencias significativas entre los tratamientos y las dosis tanto en los ensayos 1 y 2 de la Fase 1; y en el ensayo de la Fase 2, puede deberse a que los FOF en el presente estudio carecieran de la cantidad necesaria de nutrimentos. Asimismo, en general, es posible los efectos del abono foliar se presenten a más largo plazo, por lo que talvez sea necesario realizar una observación en un periodo más prolongado de tiempo.

6 CONCLUSIONES

- Con base en los resultados obtenidos en la encuesta a los agricultores orgánicos de las regiones de Turrialba, Zarcero y Pérez Zeledón se puede concluir que:
 - a) existen dos procedimientos diferentes con respecto a la forma de elaboración de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF), 1) se agregan todos los ingredientes al inicio y mantiene el recipiente sellado durante todo el proceso de fermentación o 2) se agregan los ingredientes por etapas, mezclando el preparado cuidadosamente luego de cada adición.
 - b) la dosis de aplicación más comúnmente utilizada varía entre 0,4 % y 4,7 %; con lo que se estaría evitando concentraciones altas que pudieran ser fitotóxicas
 - c) la frecuencia de aplicación varió entre una o dos veces por semana hasta una vez cada 15 días
 - d) el fertilizante se utiliza generalmente a partir de los 40 días de comenzado el proceso de fermentación;
 - e) la cantidad de fertilizante preparada habitualmente se agota en el lapso de 2 a 4,5 meses;
 - f) los fertilizantes se utilizan fundamentalmente como abono foliar, plaguicida y funguicida.
 - g) las recetas utilizadas por los agricultores varían según factores como su experiencia y las necesidades específicas que estos desean cubrir.
- El uso de arena de mar como ingrediente opcional favoreció altos niveles de Zn, Mn, Cu y Fe; y parece ser una fuente importante de estos minerales y otros óxidos de metales.
- Los resultados de los análisis microbiológicos indicaron ausencia de *Salmonella* en todos los fertilizantes analizados de los agricultores.
- Los resultados de los análisis químicos de los FOF evaluados en laboratorio mostraron los niveles más altos de nitrógeno a los 30 días, con una marcada disminución a los 45 días (35,07 mg/L en promedio de disminución).

- Los contenidos más altos de fósforo, potasio, calcio y magnesio se observaron cuando se agregaron los niveles más altos de todos los ingredientes:
 - 550 gramos de estiércol en lugar de 0 y 200 gramos
 - 250 cc de melaza en lugar de 40 cc
 - con suero de leche en lugar de sin suero de leche

- Los resultados obtenidos en la Fase 2 de esta investigación permiten concluir que el estiércol, la melaza y el suero no presentan un riesgo de inocuidad.
- Todos los fertilizantes analizados, excepto uno, no presentaron coliformes totales ni *Escherichia coli*; los valores de estos microorganismos encontrados en el fertilizante contaminado estuvieron muy por debajo de los límites máximos de poblaciones de coliformes establecidos por los criterios de la EPA para compost.
- En las pruebas de crecimiento en invernadero con tomate no se observó efecto de las aplicaciones foliares de los fertilizantes elaborados por los agricultores ni de los elaborados en el laboratorio.
- El porcentaje de germinación en los tratamientos que recibieron la aplicación de una dosis del 2,5 % de los FOF preparados en el laboratorio fue en promedio del 81,6 %, mientras que los que recibieron una dosis del 10 % tuvieron una germinación promedio del 75,4 %.
- El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos y se observó que los fertilizantes con mayor contenido de estiércol tuvieron la mayor media de germinación.
- En el caso de los FOF, el uso de pruebas de germinación como indicadores de fitotoxicidad debe ser utilizado con precaución debido a que los elementos tóxicos de los fertilizantes afectan de diferente manera a semillas y follaje.

7 RECOMENDACIONES

- En lo referente al proceso de producción de los fertilizantes orgánicos fermentados (FOF), es necesario un mayor entendimiento técnico y mayor cuidado por parte de los agricultores para que no se den problemas con las válvulas de escape de gas y para evitar accidentes como la entrada de aire.
- Dado que la cantidad de nitrógeno presente en los FOF es mayor antes de los 45 días, el agricultor puede considerar interrumpir el proceso de fermentación antes, de acuerdo con las necesidades y condiciones del cultivo.
- Respecto a la pérdida de nitrógeno durante el almacenamiento de los FOF se recomienda hacer un estudio que permita evaluar los factores que causan dicha pérdida y permita encontrar soluciones para evitarla.
- Dado que se observó un leve aumento de crecimiento en los tratamientos con dosis del 10 % de los FOF elaborados por los agricultores, sin que ocurriera fitotoxicidad, se recomienda llevar adelante futuras investigaciones que incluyan tratamientos con dosis más elevadas para determinar cual es la mejor dosis de aplicación.
- En posteriores estudios para comprender mejor la interacción de *Lactobacillus* y el pH se debe medir la población de *Lactobacillus* en varios puntos durante el proceso para observar su nivel de actividad.
- En el proceso de elaboración de los FOF, se recomienda prestar especial atención a los factores relacionados con el control del pH, para tratar de mantenerlo en los niveles adecuados que favorecen una buena fermentación, la actividad de *Lactobacillus* y por ende una buena calidad del proceso.
- Para estudios posteriores se recomienda observar los efectos de los FOF en las plantas por un periodo mayor.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, MA. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan-comunidad, UY. 338 p.
- Andrew Vega, KD. 2002. Evaluación de abonos orgánicos y biofertilizantes líquidos para el desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo el sistema de cultivo protegido en Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Arauz, LF. 2003. Utilización de abonos orgánicos en el combate de enfermedad de plantas. *In* Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p.81–93.
- Baier, A; Bourque, M; Castillo, H; Solórzano, R; Xet, AM. 1994. Fertilización Orgánica. 3ª ed. Tecnología Alternativa. GT. 113 p.
- Barquero, GC. 2002. Fertilización foliar de hortalizas en invernaderos. *En*: Fertilización foliar, principios y aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliare CIA/UCR: 79–83 p.
- Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica-fundamentos para la región andina. Villingen-Schwenningen, DE. 682 p.
- Bolaños Castro, EA. 2002. Determinación del tiempo óptimo de la estabilización de Bokashis elaborados con desechos de fincas del trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Lic. Ing. Agr. Guácimo, CR, Universidad EARTH. 40 p.
- Bourque, M. 1994. Abonos líquidos. *In* Fertilización Orgánica. 3ª ed. Eds. Baier, A; Castillo, H; Solórzano, R; Xet, AM. Tecnología Alternativa. Ciudad de Guatemala, GT. 113 p.
- Cifuentes Lemus, JL; Torres García, MP; Frías M, M. 1997. La composición química del agua del mar. *In* El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: Oceanografía geográfica y oceanografía química. 2ª ed. La Ciencia para Todos. MX (en línea). Consultado 16 feb. 2006. Disponible en http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_16.html
- Chavarría, M; Uribe, L. 2003. Uso de biofertilizantes y biocontroladores en la agricultura. *In* Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p.95–121.
- Chaves, V. 1999. Manejo de la fertilización en café. *In* Congreso agronómico nacional XI, Colegio de Ingenieros Agrónomos, UNED, San José, CR. 3:163–173.

- Cho, H. 1999. Utilización de microorganismos autóctonos: pensamientos y prácticas de agricultura natural coreana. 9ª ed. Nobunkyo. Tokio, JP. 151 p.
- Duicela Guambi, LA; Corral Castillo, R; Aveiga Zambrano, T; Cedeño Guerra, L. 2003. Tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. *In* Proyecto desarrollo de tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. Consejo Cafetalero Nacional, EC. (2003, Manabí, EC). Memoria. 346 p.
- Eco-LÓGICA S.A. 2001. Manual de normas y procedimientos, 3ª ed. Certificadora de Producción Orgánica. Eco-LOGICA S.A., San José, CR. 73 p.
- ESR (Institute of Environmental Science and Research Limited). 2001. Salmonella Typha. Microbial pathogen date sheet. New Zealand Food Safety Authority (en línea). Consultado 29 nov. 2004. Disponible en www.nzfsa.govt.nz/science/data-sheets/salmonella-typhi.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). s.f. La agricultura orgánica en la FAO (en línea). Consultado 29 nov. 2004. Disponible en www.fao.org/organicag/frame1-s.htm
- _____. 1999. Revista Agricultura 21 (en línea). Consultado 28 feb. 2005. Disponible en www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp3.htm
- _____. 2000. Inocuidad y calidad de los alimentos en relación con la agricultura orgánica. 22ª Conferencia regional de la FAO para Europa (en línea). Consultado 28 ago. 2005. Disponible en www.fao.org/DOCREP/MEETING/003/X8364S.HTM
- FDA (Food and Drug Administration, US). 1998. Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos, en el caso de frutas y vegetales frescos. Centers for Disease Control and Prevention. USDA (Department of Agriculture, US) (en línea). Consultado 28 ago. 2005. Disponible en www.cfsan.fda.gov/~mow/sprodgui.html
- Foster, EM; Nelson, FE; Speck, ML; Doetsch, RN; Olson, JC. 1957. Microbiología de la leche. Ed. Editorial Amazona, S.A., MX. 490 p.
- Furuya, S; Hirose, M; Saito, N; Umemiya, Y. 2001. La diferencia de absorción via foliar de nitrógeno con distintas formas para los árboles de melocotón. Centro de investigación de árboles frutales de la prefectura Yamanashi (en línea). Consultado en 25 de en 2005. Disponible en www.affrc.go.jp/seika/data_kanto/h13/14/narc0114m16.html

- García, JE. 1996. Agricultura orgánica en Costa Rica. X congreso Nacional Agronómico. p.1–5.
- _____. 1997. La agricultura orgánica en Costa Rica. Revista acta académica. Universidad Autónoma de Centro América (en línea). Consultado 28 ago. 2005. Disponible en www.uaca.ac.cr/acta/1997may/jaimee01.htm
- García Ríos, CI. 2001. Las playas de arena de Puerto Rico. Departamento de biología. Universidad de Puerto Rico en Humacao (en línea). Consultado 16 feb. 2006. Disponible en <http://cuhwww.upr.clu.edu/~cgarcia/ecologiacostanera/Clase/pla-doc/playa-2001.htm>
- Gliessman, SR. 2000. Agroecosystem sustainability. Developing Practical Strategies. Ed. Edwards, CA. US. 210 p.
- _____. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, CR. 359 p.
- Gómez D'Angelo, YT; González González, MI; Rubalcaba, SC. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Living microorganisms in the compost. Importance of their sanitary control. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, CU. Año 4, No. 7/2004 (en línea). Consultado 28 oct. 2005. Disponible en <http://www.medioambiente.cu/revistama/articulo71.htm>
- Gutiérrez, MV. 2002. Aspectos básicos de la nutrición mineral de las plantas; absorción foliar de sustancias útiles en la aplicación de agroquímicos al follaje. *In* Fertilización Foliar, Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliare CIA/UCR. p.1–6.
- Gúzaman, M. 1995. Aplicación de fertilizantes foliares en mezclas con fungicidas utilizados en el combate de sigatoca negra del banano. Informe Anual 1995. CORBANA. San José, CR. p.73–75.
- Hernández, LR. 1997. Control biológico de la marchitez bacterial en TOMATE con el uso de enmiendas orgánicas. Thesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.
- Higa, T; Parr, JF. s.f. Microorganismos Benéficos y Efectivos Para Una Agricultura y Medio Ambiente Sostenible. Fundación de asesorías para el sector rural (en línea). Consultado 29 nov. 2004. Disponible en www.fundases.org/p/pub-micro01.html

- IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica). s.f. About IFOAM: what is organic agriculture? (en línea). Consultado 28 feb. 2005. Disponible en www.ifoam.org/whoisifoam/index.html
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). s.f. Agricultura orgánica. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Proyecto piloto de zonas de reserva campesina. San José, CR. 32 p.
- Ishikawa, K; Naitou, S; Chaya, E; Murase, M. 2002. Screening of mixed lactic acid bacteria suitable for hypo salt-pickles. Food Research Center, AITEC. Research and Development Division, AITEC, JP (en línea). Consultado en 12 feb. 2006. Disponible en <http://www.aichi-inst.jp/html/reports/repo2002/r4-5.PDF>
- Jiménez Díaz, RM; Lamo de Espinosa, J. 1998. Agricultura sostenible. Madrid, ES. AGROFUTURO. 616 p.
- Kudva, IT; Blanch, K; Hovde, CJ. 1998. Analysis of *Escherichia coli* O157:H7 survival in ovine or bovine manure and manure slurry. Applied and Environmental Microbiology sep. 1998:3166–3174.
- Larco Reyes, ES. 2004. Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de Sigatoca negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en plátano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.
- Lec, R; Restrepo, J; Castañeda, O. 2000. Insectos, hongos, bacterias, nemátodos, hierba, etcétera. In El café ecológico: algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización. Eds. Castañeda P y Castañeda O. Magna Terra Editores. p.45–58.
- Matsuzaki, H. 2001. Suelo, compost y materia orgánica. 9 ed. Editorial La luz de casa, JP. 189 p.
- Miura, T. 2001. Proceso de fermentación de silage y rol de *Lactobacillus*. Pasto y Horticultura 49(3):14-16.
- Molina, E. 2002. Fertilización foliar de cultivos frutícolas. In Fertilización foliar, principios y aplicaciones. Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliar CIA/UCR. p.85–103.
- Nichieki Chemical Co. Ltd. s.f. Efecto de fertilizante foliar. Tokio, JP (en línea). Consultado en 25 ene. 2006. Disponible en www.ekihi.co.jp/index.htm

- NLBC (National Livestock Breeding Center) s.f. Examen de germinación. Prueba de abonos. National Livestock Breeding Center, JP (en línea). Consultado 9 ene. 2006. Disponible en www.nlbc.go.jp/chikusan/taihi/g4c42haz.htm
- Noggle, GR; Fritz, GJ. 1983. Introductory plant physiology. 2º ed. Zita de Schauensee. New Jersey, US. 627 p.
- Ohgaki, S. 2004. Métodos para medición de respuesta de microorganismos a la luz del sol. En lista de tema de tesis. Tokio university (en línea). Consultado en 25 ene 2006. Disponible en www.env.t.u-tokyo.ac.jp/ohgakilab/sotsuron04.html
- Pacheco, F. 2003. Producción, utilización y algunos aspectos técnicos de los biofermentos. *In* Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p.123–150.
- PNAO (Programa Nacional de Agricultura Orgánica) s.f. The role of organic standards and certification in Costa Rica (en línea). Consultado 28 ago. 2005. Disponible en <http://www.unep-unctad.org/cbtf/events/brussels/costarica.pdf>
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 5 ed. Editorial El Ateneo, AR. 449 p.
- Razquin Vela, N. 2000. Especificidad y sensibilidad de la PCR para detectar *Salmonella spp.* en cultivos puros y en alimentos. Trabajo de Fin de Carrera. Ingeniero Técnico Agrícola (Industrias Agroalimentarias), Universidad Pública de Navarra, España.
- Redlinger, IT; Graham, J; Corella-Barud, V; Avitia, R. 2001. Survival of fecal coliforms in Dry-Composting Toilets. *Applied and Environmental Microbiology* sep. 2001:4036–4040.
- REG (Regional Epidemiology Program). 2003. Salmonelosis. Enfermedades transmisibles. Departamento de Salud de Nueva York, US, (en línea). Consultado 16 ene. 2006. Disponible en <http://www.health.state.ny.us/es/disease/communicable/salmonelosis.htm>
- Restrepo Rivera, J. 2000. 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.

- _____. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. San José, CR. 155 p.
- _____; Castañeda, OR; Lec, R. 2001. El café ecológico: algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización. Eds. P Castañeda; OR Castañeda. GT. 230 p.
- Ríos, R; Corella, F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del mango. *In* Congreso Agronómico Nacional XI, Colegio de Ingenieros Agrónomos, UNED, San José, CR. 3:277–290.
- Rodríguez, G; Soto, G. 1999. Fertilización de hortalizas orgánicas. Conferencia 82. *In* XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos 1999. Memoria. p.267–275.
- Rubin, RH; Weinstein, L. 1977. Salmonellosis. Stratton Intercontinental Medical Book Corporation, New York. 137 p.
- Salas, RE. 2002a. Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. *In* Fertilización foliar, principios y aplicaciones. Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliares CIA/UCR: 7–18.
- _____. 2002b. Fertilización foliar de plantas ornamentales. *In* Fertilización Foliar, Principios y Aplicaciones. Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliares CIA/UCR: 69–78.
- Segura, A. 2002. Principios y aplicaciones de fertilización foliar. *In* Fertilización foliar, principios y aplicaciones. Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliares CIA/UCR: 19–25.
- Selke, W. 1968. Los abonos. Ed. Editorial Academica. León, España. 441 p.
- Scheurell, S; Mahafee, W. 2002. Compost tea: principles and prospects for plant disease control. *Compost Science and Utilization* 10(4):313–338.
- Schmidt, H; Haccius, M. 1998. WU Regulation “Organic Farming”, a legal and agroecological commentary on the EU’s Council Regulation (EEC) No. 2091/91. Margraf Verlag. 417 p.
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: Definiciones y procesos. *In* Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p.21–51.

- ____; Meléndez, G. 2004. Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología no.72:91-97.
- Starr, C. 1997. Biology, concepts and applications. 3^a ed. Wadsworth Publishing Company. 743 p.
- Taiz, L; Zeiger, E. 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, US. 565 p.
- Takahashi, M; Umemoto, H. 2005. Influence of the addition of slaked lime to swine manure on electrical conductivity and mineral extraction rate. Nihon Chikusan Gakkaiho 76(2):191–199.
- Takeda, K. 2003. Nuevo diagnóstico de suelo y diseño de fertilización. Nobunkyo. Tokio, JP. 166 p.
- Tamari, M. 1999. Manual de compostaje de los recursos no utilizados. Comité de redacción de guía para utilización de desechos industriales en el departamento Nagasaki (en línea). Nagasaki, JP. 46 p. Consultado 25 nov. 2005. Disponible en www.pref.nagasaki.jp/eiken/taiki/sanpaiiguide/download/odeihen.pdf
- Tölyesi, GY. 1964. Trace elements absorption troubles in monotyledones caused by mistake in soil melhoration. Agrokováia Talatj. 13(3):253–261.
- Uchiyama, T. 2004. Rol de prueba de germinación y metodología de evaluación de la calidad sobre compost. Informes de ambiente de ganadería industrial, no27. Livestock Industry's Environmental Improvement Organization, JP (en línea). Consultado en 6 may 2006. Disponible en http://leio.lin.go.jp/tkj/tkj27/chosa_shiken_27.html
- Udagawa, T. 1999. Técnica de cambio para la agricultura natural. 3^a ed. Nobunkyo. Tokio, JP. 184 p.
- Uozumi, M. 2002. Pensamiento sobre agricultura orgánica: guía para agricultura orgánica: desde preparación de suelo hasta la comida. Grupo de agricultura orgánica en Japón. Tokio, JP. 352 p.
- Uribe, L. 2003. Calidad microbiológica e inocuidad de abonos orgánicos. *In* Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, CR). Memoria. p.179–199.

- ____; Guerrero, H; Soto, G. 2004. Determinación de la inocuidad de biofermentos a partir de boñiga, suero de leche y melaza. Boletín de Producción Orgánica. No2. Turrialba, CATIE, CR. 1 p.
- Usugami, H. 1999. How to make and use the fermented fertilizer. Nobunkyo. Tokyo, JP. 139 p.
- VDH (Virginia Department of Health). s.f. Enfermedades producidas por bacterias. Oficina de epidemiología, Departamento de Salud de Virginia (en línea). Virginia, US. Consultado 22 ago. 2005. Disponible en www.vdh.state.va.us/spanish/epifacts.htm
- Viquez, R. 2002. Sistemas de aplicación de fertilizantes foliares. *In* Fertilización foliar, principios y aplicaciones. Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliares CIA/UCR: 47–59.
- Watanabe, I; Karasawa, H; Shimamoto, K; Matsuzaki, T; Sato, I; Niikura, H; Shibata, Y; Shibata, K; Kuroda, K. 2002. Preparación y aplicación de abonos orgánicos. Nobunkyo. Tokio, JP. 287 p.
- Wingeyer, A; Echeverria, H; Sainz Rozas, H. 2005. Aplicación foliar nitrógeno y azufre en el cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr) en el sudeste Bonaerense. RIA 34(2): 33–47
- Yamada, Y; Bukovac, MJ; Wittwer, SH. 1964. Ion binding by surfaces of isolated cuticular membrana. *Plant Physiology* 39:978–982.
- Yamanaka, K. 2001. Preguntas sobre coliformes. Hospital de Ohtemae (en línea). JP. Consultado 20 feb. 2006. Disponible en <http://www.jarmam.gr.jp/situmon/daichokin.html>

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta realizada a los agricultores en las zonas de Turrialba, Zarcero y Pérez Zeledón, en Costa Rica, sobre manejo y producción del FOF.

Encuesta

1. ¿Qué materias primas o ingredientes utiliza para elaborar su fertilizante y en qué cantidad?
2. ¿Qué cantidad final generalmente obtiene de fertilizante?
3. ¿Cómo es el lugar donde se producen el FOF? (si es bajo techo, en un lugar cerrado, etc)
4. ¿Qué tipo de envase utiliza y cuánto cuesta?
5. Explique detalladamente el proceso de elaboración del FOF.
6. ¿Qué factores afectan este proceso?
7. ¿Cuánto tiempo se lo deja fermentando?
8. Para cada uno de los cultivos a los que aplica el FOF comentar:
 - a. Dosis
 - b. Frecuencia de aplicación
 - c. Método de aplicación
 - d. Objetivo y resultados esperados
9. ¿Cuál es la vida útil del fertilizante?
10. ¿Cómo mantiene el fertilizante una vez elaborado?
11. ¿Cuándo le ha salido mal el FOF?
12. ¿Por qué? ¿Qué falló?
13. Cuando aplica el FOF, ¿cuáles son los resultados que ha observado en los cultivos?

Anexo 2. Aspectos generales del proceso de elaboración de los FOF en las zonas de Turrialba, Zarcerro y Pérez Zeledón, Costa Rica.

Factores	Agricultores								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Estañón de 200L	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Cantidad de FOF Relativo a Capacidad del Estañón	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	50 %	90 %
Lugar Techado	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Lugar Cerrado	no	si	si	si	no	no	no	no	no
Estado de la Tapa	bueno	bueno	bueno	bueno	bueno	bueno	bueno	malo	malo
Tiempo de Fermentación (días)	25	15–22	30	60	21–60	40	20–45	45	34
Anaeróbico	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Mezcla (# de veces)	6	9	10	20	20	13	2	45	1
Forma de Mezclar	agitar el estañón	palo	palo	palo	palo	palo	palo	agitar el estañón	palo
Factores Importantes	anaeróbico	anaeróbico	anaeróbico, oscuridad, fresco	anaeróbico, N	anaeróbico, N	aire, tiempo	anaeróbico, oscuro, fresco	oscuro, fresco, tapado	anaeróbico
Producto Final (litros)	200	180	180	180	200	180	120	100	180
Costo (\$/estañón)	8	21	11	7,2	2	13	13,2	8,6	1
Dosis para Foliar (%)	4,7	2,5	11,1	1,4–2,8	7–25	2	0,4–2,2	0,4	18
Frecuencia de Aplicación (# / días)	1 / 8	1 / 10	2 / 7	1 / 8–15	1–2 / 7	1 / 8	1 / 7	-	1 / 7
Dosis para Suelo (%)	-	5,5	27,8	-	50	-	2,2	-	-
Uso	nutrición, plaguicida	siembra, nutrición	nutrición, suelo	nutrición	nutrición, fungicida, plaguicida	nutrición	nutrición	nutrición	nutrición
Vida Útil (meses)	6	4	3	36	8	6	-	8–12	3–5
Almacenamiento	sellado	fresco, oscuridad	sellado	sellado	sellado	sellado	sellado, fresco	sellado, fresco	sellado
Experiencia con Fertilizantes (año)	2	8	-	4	5	0,1	0,5	1	5
Fracaso	no	cantidad de melaza y levadura	no	no	aire	no	aire	no	aire
Efectos	crecimiento, brillo, color, rendimiento	raíces, hojas	crecimiento, resistencia, color	calidad, equilibrio	todo	color	vigor, sabor		vigor, color

Anexo 3. Correlación de Pearson (coeficientes)probabilidades) entre los ingredientes utilizados en la elaboración de los FOF producidos por los agricultores de Costa Rica y los resultados del análisis químico.

Ingredientes	Coeficientes \ Probabilidades										
	Estiercol	Lombricompost	Melaza	Agua	Suero	Leche	EM	MM	Levadura		
Estiercol	1	0,2000	0,6600	0,0500	0,0300	0,2200	0,4600	0,2300	0,8300		
Lombricompost	-0,40	1	0,7300	0,2400	0,1600	0,6200	0,5300	0,3200	0,5200		
Melaza	-0,14	0,11	1	0,5300	0,4900	0,7200	0,7200	0,6600	0,8200		
Agua	0,58	-0,36	-0,20	1	<0,0001	0,3100	0,0900	0,4400	0,9400		
Suero	-0,61	0,43	0,22	-0,97	1	0,1200	0,0500	0,4800	0,7300		
Leche	0,38	-0,16	0,12	0,32	-0,47	1	0,5300	0,4400	0,5900		
EM	-0,24	0,20	-0,11	-0,50	0,57	-0,20	1	0,2400	0,0500		
MM	-0,37	-0,31	-0,14	-0,25	0,22	-0,25	0,37	1	0,4100		
Levadura	0,07	0,21	-0,07	-0,03	0,11	-0,17	0,59	-0,26	1		
Roca Fosforica	-0,04	0,26	0,70	-0,40	0,48	-0,11	0,22	-0,35	0,28		
Sulfato de Magnesio	0,05	-0,16	-0,28	-0,15	0,10	-0,11	0,30	0,45	0,10		
Sulfato de Manganeso	-0,25	0,34	0,06	-0,39	0,50	-0,16	0,79	-0,16	0,74		
Sulfato de Cobre	0,30	0,14	0,38	0,03	-0,07	0,75	0,22	-0,39	0,23		
Sulfato de Zinc	-0,14	0,33	0,18	-0,35	0,43	0,07	0,70	-0,28	0,66		
Sulfato de Potasio	-0,03	-0,13	-0,10	-0,29	0,25	-0,13	0,15	0,46	-0,26		
Borax	0,18	-0,10	0,22	-0,01	-0,08	0,52	-0,39	-0,40	-0,33		
Carbonato de calcio	0,30	0,04	0,47	-0,01	-0,02	0,36	-0,33	-0,38	-0,28		
Sulfato de hierro	0,21	0,16	0,52	-0,11	0,17	-0,09	-0,20	-0,25	-0,17		
Ceniza	0,21	-0,30	0,22	0,09	-0,11	-0,05	-0,47	-0,27	-0,40		
Vinagre de Guineo	0,38	-0,16	-0,23	0,41	-0,43	-0,09	-0,20	-0,25	0,52		
Agua de Pipa	0,38	-0,16	-0,23	0,41	-0,43	-0,09	-0,20	-0,25	0,52		
Plantas Verdes	-0,40	-0,21	-0,04	0,41	-0,32	-0,12	-0,27	0,25	-0,23		
Arena del Mar	-0,31	0,64	-0,12	-0,22	0,22	-0,09	-0,20	-0,25	-0,17		
Tiempo	0,11	-0,22	-0,28	0,41	-0,50	0,27	-0,75	-0,03	-0,74		
Lactobacillus	0,36	-0,58	-0,20	0,29	-0,45	0,22	-0,65	0,18	-0,62		
pH	0,67	-0,08	-0,29	0,64	-0,58	0,26	-0,24	-0,45	-0,08		
Germinación (2,5 %)	-0,15	0,14	-0,07	-0,13	0,18	0,01	0,20	-0,10	-0,06		
Germinación (10 %)	0,09	-0,45	0,02	0,50	-0,54	0,22	-0,54	0,08	-0,54		
C.E.	-0,43	-0,16	-0,10	-0,78	0,72	-0,39	0,50	0,60	0,02		
Ca	0,10	0,40	0,48	0,04	-0,03	0,33	-0,38	-0,45	-0,28		
Mg	-0,04	-0,09	-0,33	0,26	0,21	-0,15	0,29	0,38	0,06		
K	-0,18	-0,12	-0,12	-0,32	0,26	-0,17	0,14	0,55	-0,30		
P	-0,28	0,03	-0,09	-0,57	0,59	-0,24	0,53	0,22	0,19		
N	-0,26	0,29	0,13	-0,42	0,54	-0,24	0,76	-0,15	0,72		
C.O.	-0,59	0,40	0,38	-0,60	0,66	-0,41	0,39	0,32	0,25		
Cu	-0,15	0,72	0,27	-0,37	0,43	-0,04	0,09	-0,45	0,11		
Zn	-0,35	0,73	0,16	-0,55	0,62	-0,09	0,45	-0,42	0,41		
Mn	-0,47	0,78	-0,13	-0,44	0,47	-0,18	0,10	-0,32	0,09		
Fe	-0,20	0,59	0,15	-0,02	0,04	-0,02	-0,48	-0,39	-0,25		

CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono Orgánico, EM = Microorganismos Eficaces, MM = Microorganismos de Montaña

Anexo 3. (Continuación)

Ingredientes	Coeficientes \ Probabilidades															
	Roca Fosforica	Sulfato de Magnesio	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Sulfato de Zinc	Sulfato de Potasio	Borax	Carbonato de calcio	Sulfato de hierro	Ceniza	Vinagre de Guineo	Agua de Pipa	Plantas Verdes	Arena del Mar	Tiempo	
Estiercol	0.8900	0.8800	0.4300	0.3400	0.6700	0.9200	0.5800	0.3400	0.5100	0.6200	0.2200	0.1900	0.3200	0.7400		
Lombrí Compost	0.4200	0.6100	0.2800	0.6700	0.3000	0.6800	0.7500	0.9100	0.6200	0.3500	0.6200	0.5100	0.3000	0.4900		
Melaza	0.0100	0.3700	0.8500	0.2300	0.5800	0.7500	0.4900	0.1200	0.0800	0.4900	0.4700	0.9100	0.7200	0.3900		
Agua	0.2000	0.6400	0.2100	0.9200	0.2700	0.3600	0.9800	0.9900	0.7400	0.7700	0.1900	0.1800	0.4800	0.1800		
Suero	0.1100	0.7500	0.1000	0.8200	0.1700	0.4300	0.8000	0.9500	0.5900	0.7200	0.1600	0.3100	0.5000	0.1000		
Leche	0.7300	0.7300	0.6200	0.0100	0.8300	0.6800	0.0800	0.2500	0.7800	0.8800	0.7800	0.7100	0.7800	0.4000		
EM	0.4900	0.3400	0.0020	0.4900	0.0100	0.6400	0.2100	0.2900	0.5300	0.1300	0.5300	0.4000	0.5300	0.0100		
MM	0.2600	0.1400	0.6100	0.2100	0.3700	0.1300	0.2000	0.2300	0.4400	0.3900	0.4400	0.4400	0.4400	0.9300		
Levadura	0.3800	0.7600	0.0100	0.4800	0.0200	0.4200	0.2900	0.3700	0.5900	0.2000	0.0800	0.4800	0.5900	0.0100		
Roca Fosforica	1	0.5200	0.0900	0.1100	0.0300	0.9900	0.1900	0.0300	0.0100	0.7700	0.5800	0.4700	0.4400	0.0600		
Sulfato de Magnesio	-0.21	1	0.8500	0.6200	0.7200	0.5200	0.5100	0.5800	0.7300	0.3200	0.5400	0.6200	0.6300	0.6900		
Sulfato de Manganeso	0.51	-0.06	1	0.2100	-0.0001	0.5700	0.6800	0.6300	0.7600	0.4200	0.6200	0.6600	0.6200	0.0043		
Sulfato de Cobre	0.48	-0.16	0.39	1	0.0300	0.6800	0.0800	0.0600	0.3900	0.5200	0.5400	0.4200	0.5400	0.4000		
Sulfato de Zinc	0.63	-0.12	0.95	0.63	1	0.6000	0.6800	0.7300	0.8300	0.4300	0.5200	0.5800	0.5200	0.0100		
Sulfato de Potasio	-0.01	-0.21	-0.18	-0.13	-0.17	1	0.7900	0.6300	0.4900	0.6500	0.6800	0.7200	0.6800	0.4400		
Borax	0.41	-0.21	-0.13	0.53	0.13	0.09	1	0.0005	0.0800	0.6000	0.5900	1.0000	0.5900	0.3700		
Carbonato de calcio	0.63	-0.18	-0.15	0.56	0.11	0.16	0.85	1	0.0003	0.8200	0.6500	0.7300	0.6500	0.7500		
Sulfato de hierro	0.72	-0.11	-0.1	0.27	0.07	0.22	0.52	0.87	1	0.9200	0.7800	0.7100	0.7800	0.7800		
Ceniza	0.10	-0.32	-0.26	-0.21	-0.25	-0.15	0.17	0.07	0.03	1	0.5200	0.7300	0.5200	0.4000		
Vinagre de Guineo	-0.18	0.20	-0.16	-0.20	-0.21	-0.13	-0.17	-0.15	-0.09	-0.21	1	0.0000	0.7100	0.7800		
Agua de Pipa	-0.18	0.20	-0.16	-0.20	-0.21	-0.13	-0.17	-0.15	-0.09	-0.21	1	0.7100	0.7800	0.7800		
Plantas Verdes	-0.23	-0.19	-0.14	-0.26	-0.18	-0.12	0.00	-0.11	-0.12	-0.11	-0.12	-0.12	1	0.2700		
Arena del Mar	-0.25	-0.15	-0.16	-0.20	-0.21	-0.13	-0.17	-0.15	-0.09	-0.21	-0.09	-0.09	-0.12	1		
Tiempo	-0.56	0.13	-0.76	-0.27	-0.70	-0.25	0.28	0.10	-0.09	0.27	-0.09	-0.09	0.35	0.27		
Lactobacillus	-0.48	0.16	-0.86	-0.35	-0.81	0.23	0.24	0.10	-0.06	0.44	0.22	0.22	-0.04	-0.17		
pH	-0.25	-0.27	-0.11	0.15	-0.08	-0.27	-0.04	-0.02	-0.09	0.36	-0.05	-0.05	-0.07	0.04		
Germinación (2.5 %)	0.16	-0.74	0.36	0.17	0.38	0.45	0.16	0.03	-0.04	0.19	-0.51	-0.51	0.10	-0.06		
Germinación (10 %)	-0.31	-0.34	-0.46	-0.18	-0.43	0.02	0.18	-0.01	-0.19	0.64	-0.17	-0.17	0.46	-0.39		
C.E.	0.08	0.28	0.18	-0.30	0.09	0.59	-0.11	-0.19	-0.08	-0.17	-0.15	-0.15	-0.21	-0.12		
Ca	0.49	-0.20	-0.16	0.51	0.06	-0.10	0.64	0.85	0.77	-0.12	-0.20	-0.20	0.01	0.29		
Mg	-0.16	0.97	-0.01	-0.17	0.06	-0.21	-0.10	-0.12	-0.07	-0.31	0.12	0.12	-0.18	-0.07		
K	-0.19	-0.25	-0.22	-0.28	-0.27	0.95	-0.12	-0.10	-0.02	-0.10	-0.17	-0.17	-0.07	-0.21		
P	0.37	-0.23	0.48	0.09	0.48	0.70	0.19	0.12	0.15	-0.19	-0.24	-0.24	-0.09	-0.58		
N	0.59	-0.03	0.98	0.36	0.93	-0.17	-0.10	-0.07	0.04	-0.29	-0.14	-0.14	-0.09	-0.76		
C.O.	0.47	0.27	0.29	-0.03	0.26	0.18	-0.09	0.14	0.38	-0.57	<0.01	<0.01	0.03	0.13		
Cu	0.43	-0.23	0.27	0.31	0.33	-0.10	0.11	0.33	0.43	-0.31	-0.21	-0.28	0.71	-0.18		
Zn	0.61	-0.21	0.74	0.44	0.79	-0.10	0.22	0.25	0.27	-0.30	-0.28	-0.22	0.33	-0.47		
Mn	-0.01	-0.20	0.26	-0.06	0.20	-0.15	-0.11	-0.15	-0.10	-0.27	-0.18	-0.14	0.89	-0.02		
Fe	0.06	-0.22	-0.30	-0.03	-0.23	-0.11	0.23	0.36	0.40	-0.25	0.03	0.10	0.79	0.35		

CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono Orgánico, CO = Carbono Orgánico, EM = Microorganismos Eficaces, MM = Microorganismos de Montaña

Anexo 3. (Continuación)

Ingredientes	Coeficientes \ Probabilidades														
	Lactobacillus	pH	Germinación (2,5 %)	Germinación (10 %)	C.E.	Ca	Mg	K	P	N	C.O.	Cu	Zn	Mn	Fe
Estiércol	0.2600	0.0200	0.6400	0.7800	0.1600	0.7500	0.9100	0.5800	0.3700	0.4100	0.0400	0.6500	0.2800	0.1200	0.5300
Lombri Compost	0.0500	0.8000	0.6600	0.1400	0.6300	0.2000	0.7900	0.7200	0.3600	0.3600	0.2000	0.0100	0.0100	0.0030	0.0400
Mielaza	0.5400	0.3600	0.8300	0.9600	0.7500	0.1100	0.2900	0.7200	0.7800	0.8800	0.2200	0.3900	0.6300	0.6900	0.6400
Agua	0.3600	0.0300	0.8900	0.0900	0.0031	0.9000	0.4200	0.3200	0.0600	0.1800	0.0400	0.2400	0.0700	0.1500	0.9400
Suero	0.1400	0.0500	0.5700	0.0700	0.0100	0.9300	0.5100	0.4100	0.0400	0.0700	0.0200	0.1600	0.0300	0.1300	0.9000
Leche	0.5000	0.4200	0.9700	0.4800	0.2100	0.2900	0.6300	0.6100	0.4500	0.4500	0.1800	0.8900	0.7900	0.7700	0.9500
EM	0.0200	0.4500	0.5300	0.0700	0.1000	0.2200	0.3600	0.6600	0.0800	0.0040	0.2100	0.7800	0.1400	0.5000	0.1100
MM	0.5700	0.1400	0.7500	0.8000	0.0400	0.1400	0.2200	0.0600	0.5000	0.8500	0.3200	0.1400	0.1700	0.3100	0.2100
Levadura	0.0300	0.8000	0.8500	0.0700	0.9600	0.3700	0.8500	0.3500	0.5600	0.0100	0.4400	0.7300	0.1900	0.7800	0.4300
Roca Fosforica	0.1200	0.4300	0.6200	0.3300	0.8000	0.1100	0.6300	0.5600	0.2300	0.0400	0.1300	0.1700	0.0300	0.9900	0.8500
Sulfato de Magnesio	0.6200	0.3900	0.0100	0.2800	0.3800	0.5300	<0.0001	0.4400	0.4700	0.9300	0.3900	0.4800	0.5100	0.5300	0.5000
Sulfato de Manganeso	0.0003	0.7400	0.2500	0.1300	0.5700	0.6100	0.9700	0.4900	0.1100	<0.0001	0.3600	0.3900	0.0100	0.4200	0.3400
Sulfato de Cobre	0.2600	0.6400	0.5900	0.5800	0.3500	0.0900	0.5900	0.3800	0.7900	0.2500	0.9300	0.3200	0.1600	0.8500	0.9300
Sulfato de Zinc	0.0013	0.8100	0.2300	0.1600	0.7800	0.8400	0.8500	0.4000	0.1100	<0.0001	0.4200	0.2900	0.0023	0.5300	0.4600
Sulfato de Potasio	0.4700	0.3900	0.1400	0.9600	0.0400	0.7600	0.5100	<0.0001	0.0100	0.8000	0.5800	0.7600	0.7500	0.6400	0.7300
Borax	0.4500	0.8900	0.6300	0.5700	0.7400	0.0300	0.7600	0.7000	0.5400	0.7600	0.7900	0.7300	0.4800	0.7200	0.4500
Carbonato de calcio	0.7600	0.9600	0.9200	0.9700	0.5600	0.0005	0.7100	0.7600	0.7100	0.8300	0.6800	0.2900	0.4400	0.6300	0.2500
Sulfato de hierro	0.8600	0.7900	0.9000	0.5600	0.8000	0.0036	0.8300	0.9400	0.6400	0.9100	0.2300	0.1600	0.4000	0.7500	0.1900
Ceniza	0.1500	0.2500	0.5500	0.0300	0.6000	0.7200	0.3300	0.7700	0.5400	0.3600	0.0500	0.3200	0.3500	0.3900	0.4400
Vinagre de Guineo	0.5000	0.8700	0.0900	0.5900	0.6400	0.5400	0.7000	0.5900	0.4500	0.8500	0.9900	0.5100	0.3700	0.5700	0.9200
Agua de Pipa	0.5000	0.8700	0.0900	0.5900	0.6400	0.5400	0.7000	0.5900	0.4500	0.8500	0.9900	0.5100	0.3700	0.5700	0.9200
Plantas Verdes	0.9100	0.8300	0.7500	0.1300	0.5100	0.9700	0.5900	0.8300	0.7700	0.7800	0.9200	0.3800	0.4900	0.6600	0.7500
Arena del Mar	0.6100	0.9000	0.8400	0.2100	0.7200	0.3700	0.8300	0.9800	0.4500	0.6200	0.6900	0.0100	0.2900	<0.0001	0.0023
Tiempo	0.0200	0.3600	0.3700	0.1100	0.2300	0.4800	0.5900	0.5100	0.0500	0.0044	0.1400	0.5700	0.1300	0.9600	0.2600
Lactobacillus	1	0.8400	0.3800	0.0500	0.9300	0.7100	0.7000	0.4400	0.3700	0.0002	0.1500	0.0500	0.0025	0.1200	0.7700
pH	0.06	1	0.4600	0.3400	0.0100	0.8800	0.3300	0.3600	0.2100	0.5800	0.0011	0.9800	0.6100	0.8300	0.8500
Germinación (2,5 %)	-0.28	0.24	1	0.4000	0.7800	0.8100	0.0200	0.1400	0.0200	0.3700	0.4200	0.8400	0.2600	0.6300	0.6000
Germinación (10 %)	0.57	0.30	0.27	1	0.3100	0.6300	0.2200	0.7800	0.4900	0.0700	0.0300	0.0100	0.0400	0.0800	0.3600
C.E.	0.03	-0.70	0.09	-0.32	1	0.1600	0.2900	0.0300	0.0100	0.4700	0.1100	0.7200	0.7900	0.9300	0.3300
Ca	-0.12	0.05	-0.08	-0.16	-0.43	1	0.6700	0.3900	0.6000	0.7900	0.4700	0.0300	0.2200	0.4800	0.0100
Mg	0.12	-0.31	-0.68	-0.39	0.33	-0.14	1	0.4000	0.6600	0.9300	0.3400	0.6900	0.8300	0.8300	0.7000
K	0.25	-0.29	0.45	0.09	0.61	-0.28	-0.27	1	0.0400	0.4500	0.6900	0.6300	0.5400	0.8300	0.6700
P	-0.28	-0.39	0.64	-0.22	0.70	-0.17	-0.14	0.61	1	0.1000	0.2900	0.8800	0.1500	0.8500	0.4200
N	-0.88	-0.18	0.28	-0.54	0.23	-0.09	0.03	-0.24	0.50	1	0.2000	0.2900	0.0100	0.4400	0.4600
C.O.	-0.44	-0.82	-0.26	-0.62	0.49	0.23	0.30	0.13	0.33	0.40	1	0.2000	0.1600	0.4200	0.3500
Cu	-0.58	0.01	0.06	-0.68	-0.12	0.64	-0.13	-0.16	0.05	0.34	0.40	1	0.0100	0.0029	0.0100
Zn	-0.79	-0.16	0.35	-0.59	0.09	0.38	-0.07	-0.20	0.44	0.74	0.43	0.74	1	0.0200	0.2900
Mn	-0.48	-0.07	0.15	-0.53	0.03	0.22	-0.07	-0.07	0.06	0.25	0.26	0.78	0.68	1	0.0200
Fe	-0.09	-0.06	-0.17	-0.29	-0.31	0.72	-0.13	-0.14	-0.26	-0.23	0.30	0.73	0.33	0.66	1

CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono Orgánico, EM = Microorganismos Eficaces, MM = Microorganismos de Montaña

Anexo 4. Análisis de varianza entre los tratamientos de la Fase 1 para germinación de las semillas de repollo (*Brassica olearacea*) tratadas con los fertilizantes elaborados por los agricultores de Costa Rica; dosis aplicadas: 2,5 % y 10 %.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Germinación (%)	78	0,96	0,94	9,87	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	51843,28	25	2073,73	45,59	<0,0001
Tratamientos	51843,28	25	2073,73	45,59	<0,0001
Error	2365,33	52	45,49		
Total	54208,62	77			
Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=11,05019					
Error: 45,4872 gl: 52					
Tratamientos	Medias	n			
10%E20M10S180	2,67	3	A		
10%Lc20M7S160	14,67	3		B	
10%E15M5S150 b	30,67	3			C
10%E30M18S150	32,67	3			C
10%E40M5S10	34,00	3			C
10%Lc20M10S180	36,67	3			C
10%E15M5S150 a	53,33	3			D
2,5%E15M5S150 b	68,00	3			E
10%E40M11L22	70,00	3			E F
2,5%E40M5S10	71,33	3			E F
10%E0M4S150	72,67	3			E F G
10%E5M20S150	78,00	3			E F G H
2,5%E5M20S150	80,67	3			F G H I
2,5%Lc20M7S160	82,67	3			G H I
ECO-HUM DX	82,67	3			G H I
2,5%E30M18S150	83,33	3			G H I
Agua	84,00	3			H I
2,5%E40M11L22	84,67	3			H I J
2,5%E0M10S20	84,67	3			H I J
10%E0M10S20	84,67	3			H I J
10%E50M3S20	87,33	3			H I J
2,5%E20M10S180	88,00	3			H I J
2,5%E50M3S20	90,67	3			I J
2,5%E0M4S150	91,33	3			I J
2,5%Lc20M10S180	91,33	3			I J
2,5%E15M5S150 a	95,33	3			J

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad. ECO-HUM DX = fertilizante orgánico comercial

Anexo 5. Coeficiente de variación y probabilidades para la diferencia de tratamientos en la variable altura en plántulas de tomate del Ensayo 1 en invernadero.

Ensayo 1	Altura 0	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura Total
CV	13,17	10,77	8,36	8,63	14,21
Tratamientos	0,3365	0,3872	0,4339	0,1132	0,3803

CV = coeficiente de variación, Altura 0 = altura al inicio del tratamiento, Altura 1 = altura a los 7 días, Altura 2 = altura a los 14 días, Altura 3 = altura a los 21 días, Altura Total = Altura 3 – Altura 0

Anexo 6. Coeficiente de variación y probabilidades para la diferencia de tratamientos en la variable de número de hojas en el Ensayo 1 en invernadero.

Ensayo 1	Hoja 0	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja Total
CV	11,81	9,63	5,78	6,80	11,62
Tratamientos	0,4957	0,8444	0,2633	0,2029	0,4726

CV = coeficiente de variación, Hoja 0 = número de hojas al inicio del tratamiento, Hoja 1 = número de hojas a los 7 días, Hoja 2 = número de hojas a los 14 días, Hoja 3 = número de hojas a los 21 días, Hoja Total = Hoja 3 – Hoja 0

Anexo 7. Coeficiente de variación y probabilidades para la diferencia de tratamientos en la variable altura en plántulas de tomate del Ensayo 2 en invernadero.

Ensayo 2	Altura 0	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Altura Total
CV	22,28	13,64	14,22	10,41	9,96	13,60
Tratamientos	0,6358	0,2178	0,3808	0,1802	0,3914	0,4550

CV = coeficiente de variación, Altura 0 = altura al inicio del tratamiento, Altura 1 = altura a los 7 días, Altura 2 = altura a los 14 días, Altura 3 = altura a los 21 días, Altura 4 = altura a los 28 días, Altura Total = Altura 4 – Altura 0

Anexo 8. Coeficiente de variación y probabilidades para la diferencia de tratamientos en la variable de número de hojas en el Ensayo 2 en invernadero.

Ensayo 2	Hoja 0	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja Total
CV	11,56	8,29	6,41	7,09	9,30	15,83
Tratamientos	0,2589	0,9449	0,6849	0,6512	0,6540	0,8219

CV = coeficiente de variación, Hoja 0 = número de hojas al inicio del tratamiento, Hoja 1 = número de hojas a los 7 días, Hoja 2 = número de hojas a los 14 días, Hoja 3 = número de hojas a los 21 días, Hoja 4 = número de hojas a los 28 días, Hoja Total = Hoja 4 – Hoja 0

Anexo 9. Análisis estadístico de ANDEVA de comparación entre los agrupamientos de los FOF elaborados por los agricultores de Costa Rica, obtenidos por medio del programa *Cluster* en *Infostat*.

Variable	Pr > F	Medias			
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Estiércol	0,0102	7,00 (A)	10,00 (A)	15,00 (A)	43,33 (B)
Suero	0,0068	124,00 (B)	180,00 (B)	155,00 (B)	10,00 (A)
EM	0,0064	0,12 (A)	0,50 (B)	0,00 (A)	0,00 (A)
MM	0,0327	9,60 (B)	3,00 (A y B)	0,00 (A)	0,00 (A)
Levadura	0,0166	0,00 (A)	0,50 (B)	0,00 (A)	0,17 (A)
Sulfato de manganeso	<0,0001	0,20 (A)	4,00 (B)	0,15 (A)	0,00 (A)
Sulfato de zinc	0,0008	0,20 (A)	3,00 (B)	0,50 (A)	0,33 (A)
Tiempo	0,0375	50,00 (B)	15,00 (A)	50,00 (B)	53,33 (B)
<i>Lactobacillus sp.</i>	0,0001	27600 (C)	200 (A)	18000 (B)	30000 (C)
Ca (Resultado de análisis)	0,0351	0,09 (A)	0,10 (A)	0,23 (B)	0,12 (A)
N	0,0001	0,13 (A)	0,59 (B)	0,16 (A)	0,07 (A)
C.O.	0,0379	2,05 (B)	2,30 (B)	2,42 (B)	1,16 (A)
Cu (Resultado de análisis)	<0,0001	0,58 (A)	168,00 (B)	326,00 (C)	24,30 (A)
Zn (Resultado de análisis)	0,0025	491,18 (A)	3245,00 (B)	2544,50 (B)	289,17 (A)
Fe (Resultado de análisis)	0,0034	82,80 (A)	44,50 (A)	333,00 (B)	92,67 (A)

Grupo 1 = fertilizantes $E_{15}M_5S_{150b}$, $E_{15}M_5S_{150a}$, $E_5M_{20}S_{150}$, $E_0M_4S_{150}$ y $E_0M_{10}S_{20}$. Grupo 2= fertilizantes $Lc_{20}M_{10}S_{180}$ y $E_{20}M_{10}S_{180}$. Grupo 3 = fertilizantes $Lc_{20}M_7S_{160}$ y $E_{30}M_{18}S_{150}$. Grupo 4 = fertilizantes $E_{40}M_5S_{10}$, $E_{50}M_3S_{20}$ y $E_{40}M_{11}L_{22}$, EM = Microorganismos Eficaces, MM = Microorganismos de Montaña, C.O. = Carbono de Orgánico

Anexo 10. Análisis de varianza para pH de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 1 (15 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
pH (15 días)	24	0,72	0,47	4,87	
Análisis de Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,05	11	0,10	2,83	0,0435
Estiércol	0,09	2	0,05	1,36	0,2930
Melaza	0,08	1	0,08	2,32	0,1533
Suero	0,59	1	0,59	17,60	0,0012
Estiércol*Melaza	0,01	2	0,01	0,16	0,8572
Estiércol*Suelo	0,05	2	0,02	0,68	0,5269
Melaza*Suelo	0,21	1	0,21	6,16	0,0289
Estiércol*Melaza*Suelo	0,02	2	0,01	0,36	0,7072
Error	0,40	12	0,03		
Total	1,45	23			
Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,16318					
Error: 0,0337 gl: 12					
Suelo	Medias	n			
1,00	3,61	12	A		
0,00	3,92	12	B		
A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)					

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 11. Análisis de varianza para pH de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 2 (30 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH (30 días)	24	0,70	0,42	5,35

Análisis de la Varianza (SC Tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1,10	11	0,10	2,53	0,0630	
Estiércol	0,03	2	0,02	0,42	0,6668	
Melaza	0,05	1	0,05	1,34	0,2693	
Suero	0,78	1	0,78	19,70	0,0008	
Estiércol*Melaza	2,2E-03	2	1,1E-03	0,03	0,9732	
Estiércol*Suelo	0,08	2	0,04	0,97	0,4077	
Melaza*Suelo	0,15	1	0,15	3,83	0,0739	
Estiércol*Melaza*Suelo	4,6E-03	2	2,3E-03	0,06	0,9444	
Error	0,48	12	0,04			
Total	1,58	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,17715						
Error: 0,0397 gl: 12						
Suelo	Medias	n				
1,00	3,54	12	A			
0,00	3,90	12	B			

A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 12. Análisis de varianza para pH de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 3 (45 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH (45 días)	24	0,93	0,87	2,66

Análisis de la Varianza (SC Tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1,60	11	0,15	14,59	<0,0001	
Estiércol	0,04	2	0,02	1,89	0,1931	
Melaza	0,19	1	0,19	18,74	0,0010	
Suero	0,90	1	0,90	90,56	<0,0001	
Estiércol*Melaza	0,05	2	0,03	2,54	0,1203	
Estiércol*Suelo	0,09	2	0,05	4,61	0,0327	
Melaza*Suelo	0,20	1	0,20	20,18	0,0007	
Estiércol*Melaza*Suelo	0,13	2	0,06	6,44	0,0126	
Error	0,12	12	0,01			
Total	1,72	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,08891			
Error: 0,0100 gl: 12			
Melaza	Medias	n	
250,00	3,67	12	A
40,00	3,84	12	B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,08891			
Error: 0,0100 gl: 12			
Suelo	Medias	n	
1,00	3,56	12	A
0,00	3,95	12	B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 13. Análisis de varianza para N-NH₄ de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 1 (15 días).

Variable	N	R2	R2Aj.	CV
N-NH ₄ (15 días)	24	0,86	0,74	54,39

Análisis de Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	61101,80	11	5554,71	6,88	0,0012
Estiércol	8429,38	2	4214,69	5,22	0,0233
Melaza	3692,47	1	3692,47	4,58	0,0537
Suero	27195,26	1	27195,26	33,71	0,0001
Estiércol*Melaza	2207,05	2	1103,53	1,37	0,2917
Estiércol*Suelo	9369,31	2	4684,65	5,81	0,0172
Melaza*Suelo	109,01	1	109,01	0,14	0,7196
Estiércol*Melaza*Suelo	10099,31	2	5049,66	6,26	0,0137
Error	9681,76	12	806,81		
Total	70783,56	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=30,94400			
Error: 806,8135 gl: 12			
Estiércol	Medias	n	
200,00	35,22	8	A
0,00	43,12	8	A
550,00	78,33	8	B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=25,26567			
Error: 806,8135 gl: 12			
Suelo	Medias	n	
0,00	18,56	12	A
1,00	85,89	12	B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 14. Análisis de varianza para N-NH₄ de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 2 (30 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N-NH ₄ (30 días)	24	0,83	0,68	58,10

Análisis de la Varianza (SC Tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	41596,85	11	3781,53	5,44	0,0034	
Estiércol	3102,93	2	1551,47	2,23	0,1499	
Melaza	1005,70	1	1005,70	1,45	0,2522	
Suero	30462,23	1	30462,23	43,83	<0,0001	
Estiércol*Melaza	2065,76	2	1032,88	1,49	0,2650	
Estiércol*Suelo	1902,88	2	951,44	1,37	0,2914	
Melaza*Suelo	524,91	1	524,91	0,76	0,4018	
Estiércol*Melaza*Suelo	2532,46	2	1266,23	1,82	0,2037	
Error	8339,25	12	694,94			
Total	49936,10	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=23,44860						
Error: 694,9371 gl: 12						
Suelo	Medias	n				
0,00	9,75	12	A			
1,00	81,00	12	B			

A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 15. Análisis de varianza para N-NH₄ de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 3 (45 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-NH ₄ (45 días)	24	0,54	0,12	107,39	
Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2567,99	11	233,45	1,28	0,3393
Estiércol	364,81	2	182,40	1,00	0,3973
Melaza	139,59	1	139,59	0,76	0,3993
Suero	766,14	1	766,14	4,19	0,0633
Estiércol*Melaza	404,00	2	202,00	1,11	0,3627
Estiércol*Suelo	352,93	2	176,46	0,97	0,4085
Melaza*Suelo	0,30	1	0,30	1,6E-03	0,9684
Estiércol*Melaza*Suelo	540,22	2	270,11	1,48	0,2669
Error	2193,51	12	182,79		
Total	4761,50	23			

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 16. Análisis de varianza para N-NO₃ de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 1 (15 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-NO ₃ (15 días)	23	0,88	0,77	37,93	
Análisis de la Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	221,42	11	20,13	7,54	0,0011
Estiércol	125,47	2	62,74	23,50	0,0001
Melaza	19,30	1	19,30	7,23	0,0211
Suero	31,77	1	31,77	11,90	0,0054
Estiércol*Melaza	16,74	2	8,37	3,14	0,0836
Estiércol*Suelo	24,23	2	12,11	4,54	0,0365
Melaza*Suelo	0,84	1	0,84	0,31	0,5871
Estiércol*Melaza*Suelo	1,07	2	0,53	0,20	0,8217
Error	29,36	11	2,67		
Total	250,78	22			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,83839					
Error: 2,6691 gl: 11					
Estiércol	Medias	n			
0,00	1,94	7	A		
200,00	3,10	8	A		
550,00	7,43	8		B	
A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)					
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,50029					
Error: 2,6691 gl: 11					
Melaza	Medias	n			
40,00	3,22	11	A		
250,00	5,09	12		B	
A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)					
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,50029					
Error: 2,6691 gl: 11					
Suelo	Medias	n			
1,00	2,96	11	A		
0,00	5,35	12		B	
A y B indican diferencias significativas(p ≤ 0,05)					

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 17. Análisis de varianza para N-NO₃ de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 2 (30 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
N-NO ₃ (30 días)	24	0,98	0,97	12,09	
Análisis de Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	323,34	11	29,39	68,79	<0,0001
Estiércol	164,42	2	82,21	192,39	<0,0001
Melaza	52,96	1	52,96	123,93	<0,0001
Suero	74,52	1	74,52	174,39	<0,0001
Estiércol*Melaza	10,86	2	5,43	12,71	0,0011
Estiércol*Suro	9,75	2	4,87	11,41	0,0017
Melaza*Suro	9,54	1	9,54	22,32	0,0005
Estiércol*Melaza*Suro	1,30	2	0,65	1,52	0,2577
Error	5,13	12	0,43		
Total	328,47	23			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,71214					
Error: 0,4273 gl: 12					
Estiércol	Medias	n			
0,00	2,48	8	A		
200,00	4,90	8		B	
550,00	8,83	8			C
A, B y C indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)					
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,58146					
Error: 0,4273 gl: 12					
Melaza	Medias	n			
40,00	3,92	12	A		
250,00	6,89	12		B	
A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)					
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,58146					
Error: 0,4273 gl: 12					
Suro	Medias	n			
1,00	3,64	12	A		
0,00	7,17	12		B	
A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)					

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 18. Análisis de varianza para N-NO₃ de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio, Fecha 3 (45 días).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N-NO ₃ (45 días)	24	0,93	0,86	44,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	298,86	11	27,17	14,22	<0,0001
Estiércol	200,09	2	100,05	52,38	<0,0001
Melaza	47,24	1	47,24	24,73	0,0003
Suero	8,16	1	8,16	4,27	0,0611
Estiércol*Melaza	31,14	2	15,57	8,15	0,0058
Estiércol*Suro	12,06	2	6,03	3,16	0,0791
Melaza*Suro	0,08	1	0,08	0,04	0,8453
Estiércol*Melaza*Suro	0,10	2	0,05	0,03	0,9740
Error	22,92	12	1,91		
Total	321,78	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,50558			
Error: 1,9100 gl: 12			
Estiércol	Medias	n	
0,00	0,44	8	A
200,00	1,79	8	A
550,00	7,12	8	B

A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,22930			
Error: 1,9100 gl: 12			
Melaza	Medias	n	
40,00	1,71	12	A
250,00	4,52	12	B

A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 19. Análisis de varianza para P de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P	24	0,99	0,97	8,97

Análisis de la Varianza (SC Tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1096375,31	11	99670,48	82,21	<0,0001	
Estiércol	172652,10	2	86326,05	71,21	<0,0001	
Melaza	12118,52	1	12118,52	10,00	0,0082	
Suero	882471,85	1	882471,85	727,90	<0,0001	
Estiércol*Melaza	12120,96	2	6060,48	5,00	0,0264	
Estiércol*Suelo	2210,01	2	1105,01	0,91	0,4280	
Melaza*Suelo	13268,10	1	13268,10	10,94	0,0062	
Estiércol*Melaza*Suelo	1533,77	2	766,88	0,63	0,5481	
Error	14548,29	12	1212,36			
Total	1110923,61	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=37,93196			
Error: 1212,3579 gl: 12			
Estiércol	Medias	n	
0,00	294,68	8	A
200,00	369,89	8	B
550,00	500,00	8	C

A, B y C indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=30,97132			
Error: 1212,3579 gl: 12			
Melaza	Medias	n	
40,00	365,72	12	A
250,00	410,66	12	B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=30,97132			
Error: 1212,3579 gl: 12			
Suelo	Medias	n	
0,00	196,43	12	A
1,00	579,94	12	B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 20. Análisis de varianza para K de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio.

Variable	N	R ²	R ² Aj.	CV
K	24	0,97	0,95	13,85

Análisis de Varianza (SC Tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	66143743,18	11	6013067,56	42,40	<0,0001
Estiércol	745274,41	2	372637,21	2,63	0,1131
Melaza	53579322,51	1	53579322,51	377,81	<0,0001
Suero	10777218,30	1	10777218,30	75,99	<0,0001
Estiércol*Melaza	5655,74	2	2827,87	0,02	0,9803
Estiércol*Suro	465880,17	2	232940,08	1,64	0,2341
Melaza*Suro	64992,67	1	364992,67	2,57	0,1346
Estiércol*Melaza*Suro	205399,37	2	102699,69	0,72	0,5047
Error	1701806,43	12	141817,20		
Total	67845549,62	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=334,97216			
Error: 141817,2029 gl: 12			
Melaza	Medias	n	
40,00	1225,53	12	A
250,00	4213,83	12	B

A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=334,97216			
Error: 141817,2029 gl: 12			
Suro	Medias	n	
0,00	2049,57	12	A
1,00	3389,79	12	B

A y B indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 21. Análisis de varianza para Ca de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	24	0,97	0,94	9,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4689695,18	11	426335,93	33,31	<0,0001
Estiércol	706510,29	2	353255,14	27,60	<0,0001
Melaza	3419470,53	1	3419470,53	267,17	<0,0001
Suero	443387,35	1	443387,35	34,64	0,0001
Estiércol*Melaza	58936,91	2	29468,45	2,30	0,1425
Estiércol*Suro	50959,56	2	25479,78	1,99	0,1792
Melaza*Suro	4274,67	1	4274,67	0,33	0,5740
Estiércol*Melaza*Suro	6155,88	2	3077,94	0,24	0,7899
Error	153587,25	12	12798,94		
Total	4843282,43	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=123,24714		
Error: 12798,9371 gl: 12		
Estiércol	Medias	n
0,00	1005,91	8 A
200,00	1124,58	8 A
550,00	1414,40	8 B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=100,63087		
Error: 12798,9371 gl: 12		
Melaza	Medias	n
40,00	804,17	12 A
250,00	1559,09	12 B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=100,63087		
Error: 12798,9371 gl: 12		
Suro	Medias	n
0,00	1045,71	12 A
1,00	1317,55	12 B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 22. Análisis de varianza para Mg de los ingredientes principales utilizados en la elaboración del FOF preparado en laboratorio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg	24	0,97	0,95	8,92

Análisis de Varianza (SC Tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	281692,35	11	25608,40	41,33	<0,0001	
Estiércol	134478,83	2	67239,41	108,52	<0,0001	
Melaza	124646,51	1	24646,51	201,17	<0,0001	
Suero	19198,73	1	19198,73	30,98	0,0001	
Estiércol*Melaza	1767,32	2	883,66	1,43	0,2782	
Estiércol*Suro	668,11	2	334,06	0,54	0,5967	
Melaza*Suro	6,41	1	6,41	0,01	0,9207	
Estiércol*Melaza*Suro	926,46	2	463,23	0,75	0,4943	
Error	7435,41	12	619,62			
Total	289127,76	23				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=27,11763		
Error: 619,6175 gl: 12		
Estiércol	Medias	n
0,00	194,86	8 A
200,00	265,56	8 B
550,00	376,73	8 C

A, B y C indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=22,14145		
Error: 619,6175 gl: 12		
Melaza	Medias	n
40,00	206,98	12 A
250,00	351,12	12 B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=22,14145		
Error: 619,6175 gl: 12		
Suro	Medias	n
0,00	250,77	12 A
1,00	307,33	12 B

A y B indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad

Anexo 23. Correlación de Pearson (coeficientes\probabilidades) entre los ingredientes utilizados en la preparación de los FOF elaborados en laboratorio y resultados de análisis químico.

Ingredientes	Coeficientes \ Probabilidades																		
	Estiércol	Melaza	Suero	N-NH ₄ (15 días)	(30 días)	(45 días)	(15 días)	(30 días)	(45 días)	pH (15 días)	pH (30 días)	pH (45 días)	P	K	Ca	Mg	Coliformes fecales	Lactobacillus	
Estiércol	1	1,0000	1,0000	0,1600	0,2400	0,4800	0,0003	0,0001	<0,0001	0,7100	0,7000	0,8600	0,0600	0,7300	0,0700	0,0002	0	0,6900	
Melaza	0	1	1,0000	0,2800	0,5100	0,4200	0,2600	0,0500	0,0600	0,2800	0,3900	0,1200	0,6300	<0,0001	<0,0001	0,0005	0	0,2200	
Suero	0	0	1	0,0012	<0,0001	0,0500	0,1200	0,0200	0,4600	0,0008	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0500	0,1500	0,2200	0	0,1300	
N-NH ₄ (15 días)	0,30	0,23	0,62	1	0,0016	0,2900	0,8700	0,7000	0,1900	0,0100	0,0300	0,0400	0,0001	0,0500	0,0036	0,0100	0	0,2500	
N-NH ₄ (30 días)	0,25	0,14	0,78	0,61	1	0,5600	0,7500	0,4200	0,6900	0,0100	0,0100	0,0100	<0,0001	0,0300	0,0100	0,0100	0	0,1500	
N-NH ₄ (45 días)	0,15	0,17	0,40	0,23	0,12	1	0,4300	0,8900	0,8300	0,1000	0,1400	0,1100	0,0500	0,0800	0,1700	0,1300	0	0,3800	
N-NO ₃ (15 días)	0,69	0,25	-0,33	-0,04	-0,07	-0,17	1	<0,0001	<0,0001	0,8200	0,9300	0,6300	0,8800	0,4600	0,0900	0,0100	0	0,5500	
N-NO ₃ (30 días)	0,71	0,40	-0,48	-0,08	-0,17	-0,03	0,85	1	<0,0001	0,6900	0,5600	0,3600	0,7100	0,2700	0,0200	0,0014	0	0,7000	
N-NO ₃ (45 días)	0,78	0,38	-0,16	0,27	0,09	0,05	0,76	0,77	1	0,9700	0,9300	0,9900	0,3500	0,1200	0,0037	<0,0001	0	0,6800	
pH (15 días)	-0,08	-0,23	-0,64	-0,51	-0,50	-0,34	0,05	0,09	0,01	1	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,0100	0,0300	0,1000	0	<0,0001	
pH (30 días)	-0,08	-0,18	-0,70	-0,45	-0,53	-0,31	0,02	0,12	-0,02	0,91	1	<0,0001	<0,0001	0,0100	0,0600	0,1200	0	0,0003	
pH (45 días)	0,04	-0,33	-0,72	-0,43	-0,51	-0,33	0,11	0,20	<0,01	0,76	0,83	1	<0,0001	0,0009	0,0100	0,0500	0	0,0300	
P	0,39	0,1	0,89	0,71	0,83	0,40	0,03	-0,08	0,20	-0,67	-0,72	-0,73	1	0,0200	0,0100	0,0027	0	0,0800	
K	0,07	0,89	0,40	0,41	0,44	0,37	0,16	0,24	0,33	-0,52	-0,51	-0,63	0,48	1	<0,0001	<0,0001	0	0,0600	
Ca	0,38	0,84	0,30	0,57	0,50	0,29	0,36	0,46	0,57	-0,44	-0,38	-0,50	0,53	0,89	1	<0,0001	0	0,1700	
Mg	0,68	0,66	0,26	0,51	0,49	0,32	0,54	0,61	0,75	-0,35	-0,33	-0,41	0,58	0,75	0,92	1	0	0,3100	
Coliformes fecales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3100
Lactobacillus	-0,08	-0,26	-0,32	-0,24	-0,31	-0,19	-0,13	-0,08	-0,09	0,74	0,68	0,45	-0,37	-0,4	-0,29	-0,21	0	1	

Anexo 24. Coeficiente de variación y probabilidades de los resultados del análisis microbiológico entre los ingredientes utilizados en la elaboración de los FOF preparados en laboratorio.

	Coliformes fecales	<i>Lactobacillus</i>
CV	0	181,93
Estiercol	sd	0,2910
Melaza	sd	0,2412
Suero	sd	0,1514
E*M	sd	0,6290
E*S	sd	0,4175
M*S	sd	0,5004
E*M*S	sd	0,6925

E*M = estiércol*melaza, E*S = estiércol*suero, M*S = melaza*suero, E*M*S = estiércol*melaza*suero, sd = sin datos, CV = coeficiente de variación

Anexo 25. Análisis de varianza entre los tratamientos de la Fase 2 para germinación de las semillas de repollo (*Brassica olearacea*) tratadas con los FOF elaborados en laboratorio; dosis aplicadas: 2,5 % y 10 %.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV							
Germinación (%)	78	0,77	0,66	9,33							
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)											
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor						
Modelo	8864,67	25	354,59	6,87	<0,0001						
Tratamientos	8864,67	25	354,59	6,87	<0,0001						
Error	2685,33	52	51,64								
Total	11550,00	77									
Test:LSD Fisher Alfa:=0,05 DMS:=11,77396											
Error: 51,6410 gl: 52											
Tratamientos	Medias	n									
ECO-HUM DX	47,33	3	A								
2,5%E0M40S1	57,33	3	A	B							
10%E0M250S0	59,33	3		B	C						
10%E0M40S1	62,67	3		B	C	D					
10%E200M40S1	66,67	3		B	C	D	E				
Agua	69,33	3			C	D	E	F			
2,5%E0M250S0	70,00	3			C	D	E	F	G		
10%E0M40S0	74,00	3				D	E	F	G	H	
10%E200M40S0	74,67	3					E	F	G	H	I
2,5%E0M40S0	79,33	3						F	G	H	I
10%E200M250S1	79,33	3						F	G	H	I
10%E550M250S1	79,33	3						F	G	H	I
10%E200M250S0	80,00	3						F	G	H	I
2,5%E200M40S1	80,00	3						F	G	H	I
10%E550M40S1	80,00	3						F	G	H	I
10%E550M250S0	81,33	3							G	H	I
10%E0M250S1	82,00	3								H	I
2,5%E200M40S0	82,67	3								H	I
2,5%E550M40S0	86,00	3									I
2,5%E550M40S1	86,00	3									I
2,5%E0M250S1	86,67	3									I
2,5%E200M250S0	86,67	3									I
10%E550M40S0	86,67	3									I
2,5%E550M250S1	87,33	3									I
2,5%E200M250S1	88,00	3									I
2,5%E550M250S0	89,33	3									I

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

R² = coeficiente de determinación lineal, R² Aj. = coeficiente de determinación lineal ajustado, CV = coeficiente de variación, FV = fuentes de variación, SC = sumas de cuadrado, gl = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F = valor estadístico f observado, p = valor de probabilidad. ECO-HUM DX = fertilizante orgánico comercial

Anexo 26. Coeficiente de variación y probabilidades para la diferencia de tratamientos en la variable de altura en el ensayo en invernadero de la Fase 2.

Ensayo Fase 2	Altura 0	Altura 1	Altura 2	Altura 3	Altura 4	Altura Total
CV	22,28	13,64	14,22	10,41	9,96	13,60
Tratamientos	0,6358	0,2178	0,3808	0,1802	0,3914	0,4550

CV = coeficiente de variación, Altura 0 = altura al inicio del tratamiento, Altura 1 = altura a los 7 días, Altura 2 = altura a los 14 días, Altura 3 = altura a los 21 días, Altura 4 = altura a los 28 días, Altura Total = Altura 4 – Altura 0

Anexo 27. Coeficiente de variación y probabilidades para la diferencia de tratamientos en la variable de número de hojas en el ensayo en invernadero de la Fase 2.

Ensayo Fase 2	Hoja 0	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja Total
CV	11,56	8,29	6,41	7,09	9,30	15,83
Tratamientos	0,2589	0,9449	0,6849	0,6512	0,6540	0,8219

CV = coeficiente de variación, Hoja 0 = número de hojas al inicio del tratamiento, Hoja 1 = número de hojas a los 7 días, Hoja 2 = número de hojas a los 14 días, Hoja 3 = número de hojas a los 21 días, Hoja 4 = número de hojas a los 28 días, Hoja Total = Hoja 4 – Hoja 0