

**Caracterización físico-química del
biofertilizante Microorganismos de Montaña
(MM) para la Finca Agroecológica Santa Inés,
Zamorano, Honduras**

Lesly Margarita Ramos Flores

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

**Caracterización físico-química del
biofertilizante Microorganismos de Montaña
(MM) para la Finca Agroecológica Santa Inés,
Zamorano, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Lesly Margarita Ramos Flores

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2016

Caracterización físico-química del biofertilizante Microorganismos de Montaña (MM) para la Finca Agroecológica, Zamorano, Honduras

Lesly Margarita Ramos Flores

Resumen: Los fertilizantes sintéticos son responsables del decrecimiento de la actividad microbiológica en los suelos. En consecuencia, la agroecología ha desarrollado el uso de biofertilizantes como alternativa de regeneración natural de la vida en el suelo. El objetivo de este estudio fue realizar la caracterización física y química de cuatro formulaciones de biofertilizante a base de Microorganismos de Montaña (MM). El proceso de elaboración fue descrito mediante entrevistas y visitas de campo a cuatro entidades hondureñas con experiencia en la utilización de biofertilizante. Las formulaciones se elaboraron a partir de la información recopilada en las entrevistas utilizando insumos disponibles a nivel local. Las formulaciones tuvieron en común la fuente de recolección de los microorganismos, en Tabla Grande, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán. Una de las formulaciones caracterizadas fue proporcionada por la entidad Vecinos Honduras. El medio nutritivo presentó en las cuatro formulaciones niveles de pH ácidos, una baja relación carbono nitrógeno y contenido de materia orgánica. Los nutrientes que presentaron mayor porcentaje fueron potasio, calcio y sodio. El biofertilizante constituye un medio de crecimiento microbiológico que indirectamente aporta nutrientes al suelo. Conocido el medio en el que se desarrollan los microorganismos, se deben analizar las características microbiológicas del biofertilizante y por lo tanto su viabilidad.

Palabras clave: Agricultura regenerativa, agroecología, microorganismos.

Abstract: Synthetic fertilizers are responsible for the decrease of microbiological activity in soils. In consequence, agroecology has developed the use of biofertilizers as a strategy of natural regeneration. The objective of this study was to make the physical and chemical characterization of four formulations of a biofertilizers based on Mountain Microorganisms (MM). The laboration process was evaluated via site visits to four honduran entities with experience making and using the biofertilizers. Formulations were based on information from interviews and using available inputs at the local level. The same extraction source or Mountain Microorganisms was used for all our formulations. Additionally, one formulation was made by the entity Vecinos Honduras. The nutritive medium presented in the four formulations acid levels of pH, a wide relation or carbon nitrogen and presented more percent of potassium, calcium and sodium. Biofertilizers constitute one medium of microbiological growth which indirectly give nutrients to the soil. By knowing the way in which the microorganisms develop the microbiological characteristics of the biofertilizers we can analyze their viability.

Key words: Agroecology, microorganisms, regenerative agriculture.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4. CONCLUSIONES.....	14
5. RECOMENDACIONES.....	15
6. LITERATURA CITADA	16
7. ANEXOS.....	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Composición nutricional de insumos utilizados en el biofertilizante.	6
2. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 1 (F1).	7
3. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 2 (F2).	7
4. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 3 (F3).	8
5. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 4 (F4).	9

Figuras	Página
1. Flujo de proceso para la elaboración del biofertilizante MM	5
2. Valores de pH de las formulaciones de biofertilizante	11
3. Porcentaje de materia orgánica de las formulaciones de biofertilizante.	11
4. Porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio de las formulaciones de biofertilizante	12
5. Porcentaje de calcio y magnesio de las formulaciones de biofertilizante.	13
6. Porcentaje de sodio, hierro y azufre en las formulaciones de biofertilizante. .	13

Anexos	Página
1. Hojarasca en descomposición con colonias de microorganismos benéficos ...	21
2. Inoculación de microorganismos en medio líquido MMA.	21

1. INTRODUCCIÓN

Los Microorganismos de Montaña (MM) se encuentran en colonias de bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras y hongos presentes en ecosistemas naturales con poca intervención humana (Almeida y Cárdena, 2006). Estos microorganismos nativos son usados como biofertilizantes y aportan beneficios como la eliminación de otros microorganismos patógenos debido a competencia o antagonismo (Gómez y Vásquez, 2011; Vintimilla y Ávila, 2001). Otro beneficio es la metabolización de nutrientes (Félix, Sañudo, Rojo, Martínez, y Olalde, 2008), volviéndolos disponibles para las plantas, como en la fijación biológica de nitrógeno en la cual las bacterias son capaces de fijar nitrógeno atmosférico (N_2) y convertirlo en amonio (NH_4) (Baca, 2000).

Para que la acción de los microorganismos sea eficiente se debe conocer los requerimientos ambientales (Higa y Parr, 1994), entre ellos se consideran la humedad, temperatura y pH (Ann Else, Pantle, y Amy, 2003; Vásquez y Zúñiga, 2008). Existe mayor diversidad de microorganismos en ambientes de pH neutro entre valores de 6 a 8 y con temperaturas entre 15 y 45°C (Fierer y Jackson, 2006; Matoro y Rogel, 2004). La reproducción o inoculación de MM se realiza bajo fermentación anaeróbica (Pacheco y Uribe, s.f).

Diversas investigaciones respaldan los beneficios del uso de MM. Un estudio realizado en Costa Rica a nivel de laboratorio en tomate con inóculos al suelo de *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y MM, obtuvo mayor crecimiento vegetativo con el último inóculo, adicionalmente hubo mayor solubilidad de macroelementos como el fósforo, magnesio y potasio (Castro, Murillo, Uribe, y Mata Chinchilla, 2015). Otro estudio realizado en compost con MM dio como resultado mayor contenido de potasio, calcio, magnesio y zinc en comparación a uno sin MM (Pinedo, 2011). Actualmente, existe mayor información acerca de los Microorganismos Eficientes (ME) reproducidos a nivel de laboratorio, en comparación a los MM reproducidos artesanalmente (Acosta, 2012).

Los abonos orgánicos proveen ventajas como: cuidado del ambiente, menores daños a la salud humana, mayor rendimiento del cultivo y reducción de costos (Restrepo, 1998). La acción de los abonos orgánicos es más lenta que la de los abonos convencionales, pero presenta mejores efectos a largo plazo (Félix et al., 2008). El principal beneficio del biofertilizante MM es la regeneración del suelo y reciclaje de nutrientes (Suchini, 2012), a través del aumento microbiológico benéfico en el suelo (Barabasz, Albinska, Jaskowska y Lipiec, 2002; Tarlera, Jangid, Ivester, Whitman y Williams, 2008). Opuesto a lo anterior, el uso de fertilizantes sintéticos o químicos provoca disminución en la actividad microbiológica (Bunch, 2015). El uso de fertilizantes sintéticos causa emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) al ambiente, en comparación al uso de

biofertilizantes (Armenta et al., 2010) Además, causan eutrofización por medio de escorrentía cuando los nutrientes presentes en su composición son depositados en cuerpos de agua como lagos, ríos y lagunas (Martínez, Dibut y Ríos, 2010).

El origen del uso de microorganismos como biofertilizante data desde que ecólogos y microbiólogos comenzaron a extraer microorganismos de medios naturales. Con el propósito de impulsar una transición en agricultura cambiando el sistema convencional de uso de fertilizantes químicos, por el uso de microorganismos (Higa y Parr, 1994). Según Higa (1993) la adición de ME contribuye a las propiedades biológicas y físico-químicas del suelo y a su vez promueve la agricultura sostenible. En Honduras, los MM han sido utilizados como biofertilizante para la producción de hortalizas, como parte de la cadena de valor de pequeños productores en la región del Trifinio. Estos buscan reemplazar los fertilizantes sintéticos por productos con principios agroecológicos (Suchini, 2012). El Instituto Hondureño de Café (IHCAFE) también ha implementado el biofertilizante a base de MM, con el que obtuvo mayor productividad y mayor fertilidad del suelo. Asimismo enfatiza la importancia de conocer el contenido de nutrientes presentes en ellos (Funez, Trejo, y Pineda, 2004).

En Honduras distintas organizaciones implementan MM como parte de sus operaciones. Entre ellas encontramos: 1) Vecinos Honduras, ONG que actualmente tiene programas de capacitación a pequeños agricultores con respecto a la elaboración de MM (Vecinos Honduras, 2013); 2) Café Orgánico Marcala S. A. [COMSA], empresa dedicada a la producción orgánica de café y procesamiento de abonos orgánicos que entre sus preparados utilizan como componente esencial los MM (COMSA, 2014); 3) El Instituto Nacional de Formación Profesional (INFOP), institución hondureña fundada en 1972 y que abarca áreas de formación como medio para impulsar la economía y el desarrollo del país, entre ellas la agricultura orgánica mediante la capacitación a pequeños agricultores en reproducción y uso de MM (INFOP, 2016); 4) Red de Comités de Desarrollo Ambiental (CODEMAS), aglomerado de 16 comités comunitarios a nivel rural en Lepaterique, Francisco Morazán, quienes realizan actividades de desarrollo social (Díaz, 2016).

Dada la importancia de esta tecnología para Honduras y la región centroamericana, Zamorano inició su trabajo en agroecología en el 2015 con la implementación de un Centro de Enseñanza en Agroecología. Este centro tiene como propósito adoptar el enfoque de agricultura sustentable como respuesta a la degradación ecológica y de los recursos naturales. El centro también permitirá desarrollar un modelo de implementación de prácticas agroecológicas biointensivas y resilientes al cambio climático. Sin embargo, hasta la fecha Zamorano no ha introducido o implementado los MM como biofertilizante en el área agrícola.

Este estudio está concuerda con García (2008), dado que Zamorano se ubica en el Corredor Seco Hondureño, es adoptar prácticas agroecológicas que incrementen la resiliencia natural de los suelos ante el cambio climático y que a la vez reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. El enfoque principal de este estudio fue la utilización de MM para la elaboración de un biofertilizante que pueda ser aplicado a las condiciones actuales de la Finca Agroecológica, Zamorano, Honduras. Las características evaluadas fueron las propiedades físicas y químicas para conocer el medio en el que se desarrollan los

microorganismos y su aporte al suelo como fertilizante. La recolección de datos para la elaboración del biofertilizante se basó en información obtenida de Vecinos Honduras, COMSA, INFOP y Red CODEMAS.

Específicamente, el estudio caracterizó el biofertilizante a base de Microorganismos de Montaña, para la Finca Agroecológica, Zamorano; mediante: i) la descripción del proceso de elaboración del biofertilizante y ii) el análisis de las características físicas y químicas de cuatro formulaciones del biofertilizante.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. La Finca Agroecológica está ubicada en Santa Inés, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán. La finca que se estableció en agosto 2015, con un total de 40.03 hectáreas. El suelo es de textura franco y franco arcillo arenoso. El pH oscila entre 5.32 y 6.81, clasificado como moderadamente ácido. Los valores de nutrientes en el suelo de la finca son los siguientes: nitrógeno (N) y magnesio (Mg) muy bajos, fósforo (P) y calcio (Ca) bajos, y potasio (K) medio (Laboratorio de Suelos Zamorano, 2016).

Formulaciones del biofertilizantes a base de MM. Para obtener información acerca de los procesos de elaboración del biofertilizante a base de MM se realizaron entrevistas a instituciones que trabajan en la elaboración de biofertilizantes en Honduras. Las entidades entrevistadas fueron: 1) Vecinos Honduras: Grupo de agricultores de la aldea Azabache, Danlí; 2) COMSA: Grupo de socios y agricultores en la producción de café orgánico; 3) Red CODEMAS: Grupo de agricultores y voluntarios de la institución en Lepaterique, Francisco Morazán; y 4) INFOP: Un capacitador en la finca “Leche y Miel” en la comunidad Dificultades, El Paraíso.

Elaboración del biofertilizante a base de MM. Se elaboraron tres biofertilizantes con distintas formulaciones, fundamentadas en la información obtenida de entrevistas y revisión de literatura. La cuarta formulación fue provista por Vecinos Honduras con la fórmula que ellos utilizan. Se consideraron materiales disponibles y accesibles localmente, además de subproductos de bajo costo. De acuerdo a la información recopilada, se estableció el proceso base para la elaboración del biofertilizante (Figura 1), el cual se desarrolló en tres fases. Primero la inoculación de Microorganismos de Montaña en Medio Sólido (MMS), segundo; los Microorganismos de Montaña Activados (MMA) y por último el biofertilizante MM (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” [CENTA], 2012; Suchini, 2012).

Microorganismos de Montaña Sólido (MMS). Primero se extrajo un saco en volumen; de hojarasca en descomposición con presencia de colonias de microorganismos benéficos o cepas de color blanco. Estos se encontraban cercanos a cultivos de café; con poca intervención humana y nula aplicación de químicos, para evitar la reproducción de microorganismos perjudiciales (Suchini, 2012).

La extracción se realizó en una montaña con cultivo de café en Tabla Grande, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. A una altura de 1,374 msnm, con coordenadas UTM: X E1547383.31N, Y 16P 509142.60 (Google Inc., 2014). El sitio fue seleccionado debido a su cercanía a la Finca Agroecológica, Zamorano y con el propósito de que los MM tuvieran mayor adaptabilidad (Acosta, 2012).

Una vez colectada la hojarasca, ésta se mezcló con 100 libras de semolina de arroz y 3.785 litros de melaza. Esta mezcla se diluyó en agua con proporciones 50/50 para obtener condiciones de humedad adecuadas. Al tener una mezcla homogénea, ésta se adicionó a un recipiente plástico con capacidad de 200 L y se compactó con un trozo de madera para evitar la acumulación de oxígeno. Finalmente se cerró herméticamente para evitar la entrada de oxígeno y de esa manera reproducir los MM bajo fermentación anaeróbica. La mezcla se dejó en fermentación durante 21 días. El lugar de almacenamiento fue bajo techo y donde los microorganismos no estuvieron expuestos a la luz solar.

Microorganismos de Montaña Activados (MMA). Es la fase de reproducción de los MM en medio líquido. El objetivo de esta fase fue activar los microorganismos, que aún se encontraban en estado de latencia (Pacheco y Uribe, s.f). Primero se agregaron 9 kg de MMS las cuales se cerraron en forma de bolsa de té y se introdujo al recipiente plástico. Este se completó con 185 L de agua sin cloro y 3.785 L de melaza. Al finalizar la mezcla, se evitó que la bolsa con MMS tocara las paredes del recipiente plástico y se selló herméticamente, evitando así la entrada de oxígeno. Con el motivo de activar hongos, bacterias benéficas y levaduras (Rodríguez y Torres, 2014), la mezcla se almacenó bajo condiciones de fermentación anaeróbica por un período de 15 días.

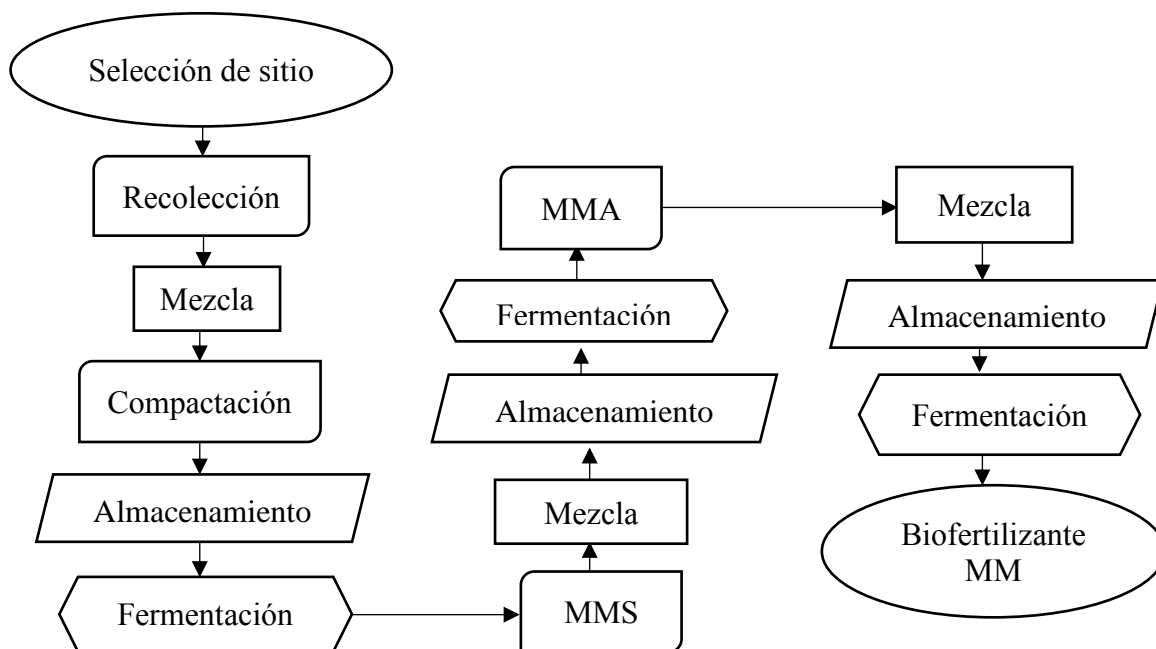


Figura 1. Flujo de proceso para la elaboración del biofertilizante MM.

Biofertilizante. Se realizaron tres formulaciones del biofertilizante. En el proceso base para la elaboración de las formulaciones, se cortó el ajo, la cebolla, el jengibre, el chile y las plantas aromáticas en partículas pequeñas. Las plantas aromáticas utilizadas en las tres formulaciones fueron cilantro, orégano y menta. Estos ingredientes fueron agregados a un recipiente plástico y mezclados con la canela en raja, el clavo de olor, la pimienta olorosa, el agua ardiente a 45 grados de alcohol y el vinagre. Se completó con agua sin cloro, MMA

y 3.785 L de melaza. Las composiciones nutricionales de algunos ingredientes utilizados se detallan en el Cuadro 1. Finalmente se colocó la tapadera para impedir la entrada de oxígeno, dejando las formulaciones bajo fermentación anaeróbica por un período de seis días.

Propiedades de los insumos utilizados. Los biofertilizantes contienen insumos con propiedades particulares. La carga orgánica del suero le permite ser una buena fuente de energía, además contiene nutrientes como nitrógeno y fósforo (Cuá, 2009). La ceniza es un producto de la combustión de madera que comúnmente aumenta valores de pH, como resultado de la disponibilidad de Ca y Mg (Gullón Solla, Soalleiro y Merino, 2001). Se describe la composición de insumos como el ajo, el cual contiene minerales esenciales como fósforo y potasio (Sociedad Argentina de Nutrición [SAN], 2012).

Cuadro 1. Composición nutricional de insumos utilizados en el biofertilizante.

Insumo	%	N	P	K	Ca	Mg	Na	Referencia
Melaza		0.34	0.14	1.87	1.10	0.30	0.15	(Gómez et al., 2008)
Semolina			1.49	-	0.09	0.83	-	(Huezo y Gernat, 1999)
Ajo			1.40	4	0.14	-	0.30	(SAN, 2012)
Cebolla			-	10.1	1.75	-	0.11	(Dini, Tenore y Dini, 2008)
Chile			0.13	1.70	0.06	0.08	0.05	(Rubio et al., 2002)
Jengibre			0.60	-	0.20	-	-	(Zachariah, 2008)
Ceniza			1.80	5.50	23.20	2.20	-	(Baier et al., 1994)

Fórmula 1 (F1). La elaboración para la primera formulación (Cuadro 2) es resultado de las cuatro entrevistas realizadas y la disponibilidad de los productos. A fin de ser replicable este estudio, se estimó la composición porcentual de cada insumo con respecto a la mezcla total (100%).

Fórmula 2 (F2). Se realizó el proceso base y se adicionó ceniza y potasa (KOH); dos ingredientes minerales que enriquecen el biofertilizante (Cuadro 3). Se estimó la composición porcentual de cada insumo con respecto a la mezcla total (100%).

Cuadro 2. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 1 (F1).

Insumo	Cantidad	Unidad	%
Ajo	1.00	kg	0.5
Cebolla	1.00	kg	0.5
Jengibre	1.00	kg	0.5
Canela en raja	114.00	g	0.1
Clavo de olor	114.00	g	0.1
Pimienta olorosa	114.00	g	0.1
Plantas aromáticas	0.45	kg	0.2
Agua ardiente Yuscarán 45° alcohol	1.00	L	0.4
Vinagre	1.00	L	0.5
Chile verde picante	0.45	kg	0.2
MMA	3.78	L	3.8
Melaza	3.78	L	2.6
Agua sin cloro	186.00	L	90.6

Fuente: Adaptado de Red CODEMAS, Vecinos Honduras.

Cuadro 3. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 2 (F2).

Insumo	Cantidad	Unidad	%
Ajo	1.00	kg	0.5
Cebolla	1.00	kg	0.5
Jengibre	1.00	kg	0.5
Canela en raja	114.00	g	0.1
Clavo de olor	114.00	g	0.1
Pimienta olorosa	114.00	g	0.1
Plantas aromáticas	1.00	kg	0.5
Agua ardiente Yuscarán 45° alcohol	1.00	L	0.4
Vinagre	1.00	L	0.5
Chile verde picante	0.45	kg	0.2
MMA	7.60	L	3.8
Ceniza de madera	1.00	kg	1.0
Potasa (KOH)	400.00	g	0.2
Melaza	7.60	L	2.6
Agua sin cloro	178.00	L	88.6

Fuente: Adaptado de INFOP, Vecinos Honduras, Red CODEMAS.

Fórmula 3 (F3). Se realizó el proceso base establecido para todas las formulaciones. Además se agregó harina de roca como mineral, suero de leche, para enriquecer el biofertilizante y cal viva (Cuadro 4) como ingrediente complementario (Restrepo, 1998). Esta última se extrajo de la cantera ubicada en El Jicarito, San Antonio de Oriente, cercana al campus de Zamorano. Se estimó la composición porcentual de cada insumo con respecto a la mezcla total (100%).

Cuadro 4. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 3 (F3).

Insumo	Cantidad	Unidad	%
Ajo	1.00	kg	0.5
Cebolla	1.00	kg	0.5
Jengibre	1.00	kg	0.5
Canela en raja	114.00	g	0.1
Clavo de olor	114.00	g	0.1
Pimienta olorosa	114.00	g	0.1
Plantas aromáticas	1.00	kg	0.5
Agua ardiente Yuscarán 45° alcohol	1.00	L	0.4
Vinagre	1.00	L	0.5
Chile verde picante	0.45	kg	0.2
MMA	7.60	L	3.8
Melaza	3.80	L	2.6
Cal viva	1.00	kg	0.5
Harina de roca	1.00	kg	0.5
Suero de leche	7.60	L	3.8
Agua sin cloro	173.00	L	85.7

Fuente: Adaptado de Restrepo., 1998.

Fórmula 4 (F4). Realizada por productores de Vecinos Honduras. Se diferencia del resto de las formulaciones por su contenido y tiempo de elaboración. Esta formulación fue seleccionada debido a sus componentes y las condiciones agroecológicas de las parcelas donde era utilizada (Cuadro 5). Se estimó la composición porcentual de cada insumo con respecto a la mezcla total (100%).

Los datos de las proporciones de cada insumo fueron proporcionados en la entrevista realizada a los productores que la elaboraron. Las plantas aromáticas utilizadas en esta fórmula fueron: zacate limón, hierba buena, culantro, eucalipto, hojas de manzanilla y hojas de mandarina. El agua ardiente fue elaborada artesanalmente.

Cuadro 5. Insumos utilizados en la elaboración del biofertilizante Fórmula 4 (F4).

Insumo	Cantidad	Unidad	%
Ajo	1.00	kg	0.5
Cebolla	1.00	kg	0.5
Jengibre	1.00	kg	0.5
Canela en raja	114.00	g	0.1
Clavo de olor	114.00	g	0.1
Pimienta olorosa	114.00	g	0.1
Plantas aromáticas	3.60	kg	1.8
Agua ardiente	2.00	L	0.8
Vinagre	3.80	L	1.8
Chile verde picante	0.45	kg	0.2
Jugo de limón	3.80	L	1.9
MMA	7.60	L	3.8
Melaza	3.80	L	2.6
Agua sin cloro	172.00	L	85.3

Fuente: Vecinos Honduras.

Análisis de laboratorio. Se analizaron las cuatro formulaciones de biofertilizante (F1, F2, F3 y F4). Esta fase se enfocó en el análisis de las características físicas y químicas para conocer el contenido de macro y micro nutrientes. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de Zamorano. El pH fue analizado por el método de pH-meter en agua. Se analizó el contenido de N por el método de Kjeldahl. El contenido de K, Ca, Mg, Na, Fe y S por digestión, fue determinado por Espectrometría de absorción atómica de llama acetileno-aire. Y por último el contenido de P por digestión, fue determinado por colorimetría de azul de molibdeno.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de los biofertilizantes elaborados son particulares, dependiendo de su composición. A continuación se presentan los resultados con el fin de responder a los objetivos planteados en el estudio.

Se estableció el sitio de extracción de MM para las tres formulaciones, tomando en consideración estudios previos y experiencias de agricultores. Se extrajeron de un lugar cercano; para una mayor eficiencia y adaptación de los microorganismos (Acosta, 2012; Gómez y Vásquez, 2011;). Los MM se encontraban en un ecosistema de cultivo de café orgánico. Se eligieron los MM de este cultivo ya que estos han presentado mayor eficiencia que los extraídos en otros medios (Campo, Acosta, Morales y Prado, 2014). Sin embargo, otros estudios (Pacheco y Uribe, s.f) mencionan que no existen diferencias significativas en la calidad de los MM extraídos de diferentes ecosistemas, siempre y cuando este lo más cerca posible al lugar de aplicación.

Proceso de elaboración. El proceso de elaboración para las formulaciones fue básicamente el mismo, lo que cambió fue su composición. Estos tienen un manejo adecuado para la sobrevivencia de los microorganismos, poca exposición al sol, sin presencia de oxígeno y con fuentes de energía como la melaza y el suero. Sin embargo, con el tiempo la degradación de la materia orgánica y las fuentes de energía decrecen al punto que los microorganismos necesitan nuevas fuentes de alimento para poder sobrevivir.

Relación Carbono:Nitrógeno (C:N). Las relaciones de Carbono:Nitrógeno fueron de 234:1 (F1), 311:1 (F2), 201:1 (F3), y 219:1 (F4), todas por encima de la relación recomendada para abonos orgánicos de 25:1 (Stewart y Guerrero, 2003). Basado en el contenido de nutrientes de los insumos (Cuadro 1), en su mayoría poseen bajo contenido de N. La diferencia del contenido de carbono en F1 radica en la poca proporción de MMA aplicados en la Fórmula, lo que hizo más lenta su degradación (Fondo para el Medio Ambiente Mundial [GEF], Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación [FAO], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] y 2011). Tener una relación tan amplia de Carbono:Nitrógeno puede reducir el crecimiento de los microorganismos (Soria et al., 2001), esto porque los microorganismos necesitan una composición 45% de carbono y 10% de nitrógeno (Orozco y Solarte, 2003).

Potencial de hidrógeno (pH). Las formulaciones F1 y F3 fueron de pH ácido y la F2 ligeramente ácido (Figura 2). La formulación F4 también presentó pH ácido, esto se debió a la adición de ácido cítrico. Estos resultados son similares a las características de pH que se presentan bajo fermentación anaeróbica con la producción de ácido acético y butírico (Centeno, 2012). También, la presencia de *Lactobacillus* (Pacheco y Uribe, s.f) causa

acidificación al liberar ácido láctico con el propósito de eliminar microorganismos antagónicos (Almeida y Cárdenas, 2006; Vintimilla y Ávila, 2001). Los resultados para la formulación 2 (pH de 5.56) se deben al contenido de ceniza de madera presente, la cual según estudios funciona como neutralizante por la presencia de carbonatos (Gullón, Soalleiro y Merino, 2001). Además el KOH también contribuye a alcalinizar el medio, ya que tiene un pH de 12 (Enriquez, 2013).

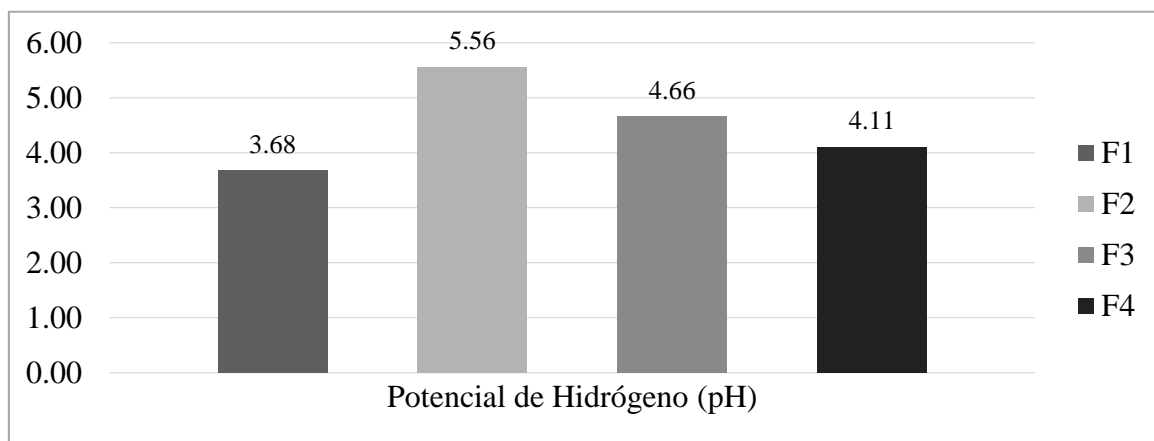


Figura 2. Valores de pH de las formulaciones de biofertilizante.

Materia orgánica M. O. La mayor cantidad de M.O. se presentó en F4 (Figura 3), se debe a mayor tiempo de fermentación después de la elaboración, en comparación a las otras formulaciones; por lo tanto, existió mayor degradación (Rivera y Canizles 2004). El tamaño de las partículas también fue determinante (Cogger, Sulliva y Kropf, 2001). En F2 y F3 se observó una diferencia de 0.4%; sin embargo, F2 presentó mayores porcentajes de materia orgánica, afirmando los resultados de un estudio realizado con bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus*), el cual presentó mejor eficiencia de consumo de carbohidratos en pH de 5-5.8 (Orozco y Solarte, 2003). De las composiciones evaluadas, la formulación F1 obtuvo el menor contenido de material vegetal, por lo que presentó menor cantidad de biomasa degradada (Cogger, Sulliva y Kropf, 2001).

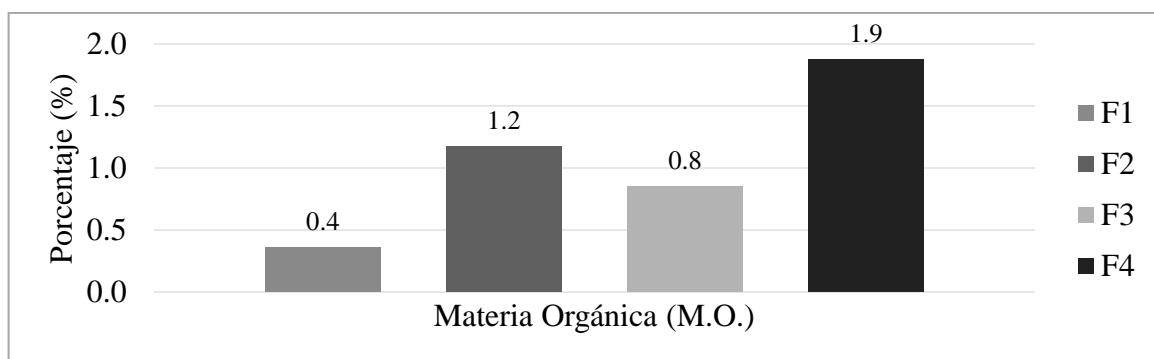


Figura 3. Porcentaje de materia orgánica de las formulaciones de biofertilizante.

Macronutrientes. Las fórmulas F2 y F4 presentaron alto contenido de potasio (K); F1, F2 y F3 presentaron bajo contenido de fósforo (P) y nitrógeno (N) en comparación a F4 (Figura 4). Según el Cuadro 1, los insumos utilizados contenían estos nutrientes en cantidades y proporciones mínimas. Según Solano, Faith y Guillén (2009) los microorganismos necesitan nitrógeno para reproducirse y sintetizar proteínas. F1 presentó bajos valores de macronutrientes en comparación a los demás, por falta de adición de componentes minerales y microorganismos.

La composición de F2 contenía potasa (KOH), lo que se evidencia en porcentajes altos de K (Weatherford, 2010). La ceniza también, con contenido de potasio (K), logró adicionar más porcentaje de este elemento a la fórmula (Gullón, Soalleiro y Merino, 2001). En el caso de F3, a pesar de contener harina de roca en su composición, se asume que esta no contenía suficientes minerales, por lo cual presentó valores bajos en todos los macronutrientes. La proporción de P disponible en F4, se relaciona a que los microorganismos tuvieron mayor tiempo de fermentación y solubilizaron el P por medio de quelatos (Acuña, 2003). Los valores de F4 teóricamente pudieron ser más altos; sin embargo, se cree que debido al tiempo de fermentación los microorganismos pasaron de su fase de crecimiento a una fase estacionaria o muerte. Adicionalmente los valores bajos de macronutrientes en F4 pudieron ser causados por falta de nuevas fuentes de materia orgánica para ser solubilizada y transformada en nutrientes (Orozco y Solarte, 2003).

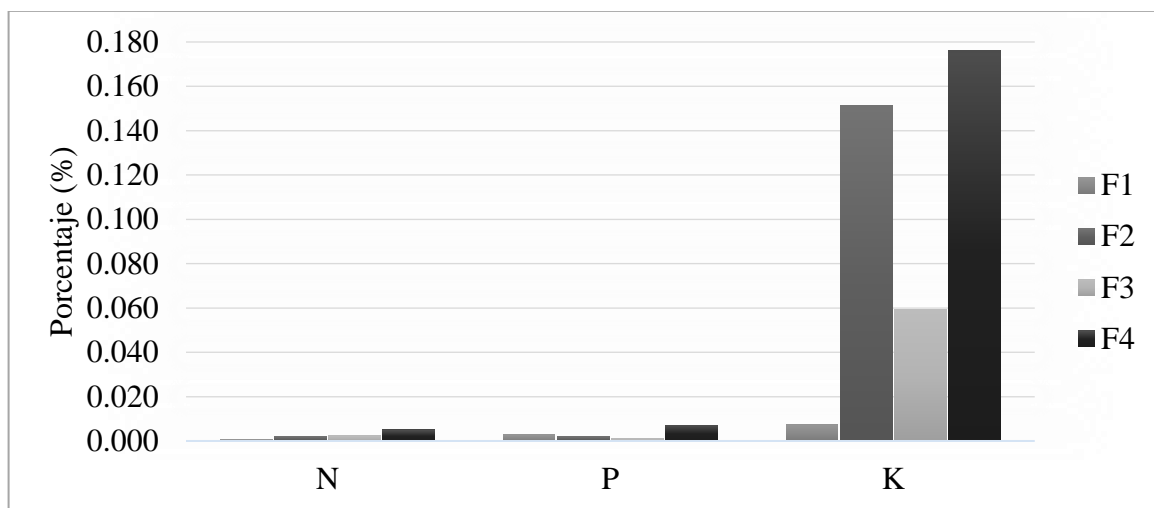


Figura 4. Porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio de las formulaciones de biofertilizante.

Micronutrientes. El contenido de calcio (Ca) fue mayor para (F3), debido a la adición de cal viva en la formulación (Figura 5). Por el contrario, F2 tuvo el menor porcentaje a pesar de la adición de ceniza. La ceniza contiene nutrientes solubles como calcio y magnesio (Mg) (Gullón, Soalleiro y Merino, 2001); sin embargo, la potasa (KOH) pudo haber limitado la solubilidad de ambos nutrientes (Weatherford, 2010). F4 presentó niveles bajos de Ca y Mg en comparación a las tres formulaciones. Esto pudo ser debido a que las condiciones como pH y materia orgánica no fueron favorables para los microorganismos en la descomposición de polímeros y nutrientes (Rivera y Canizles, 2004).

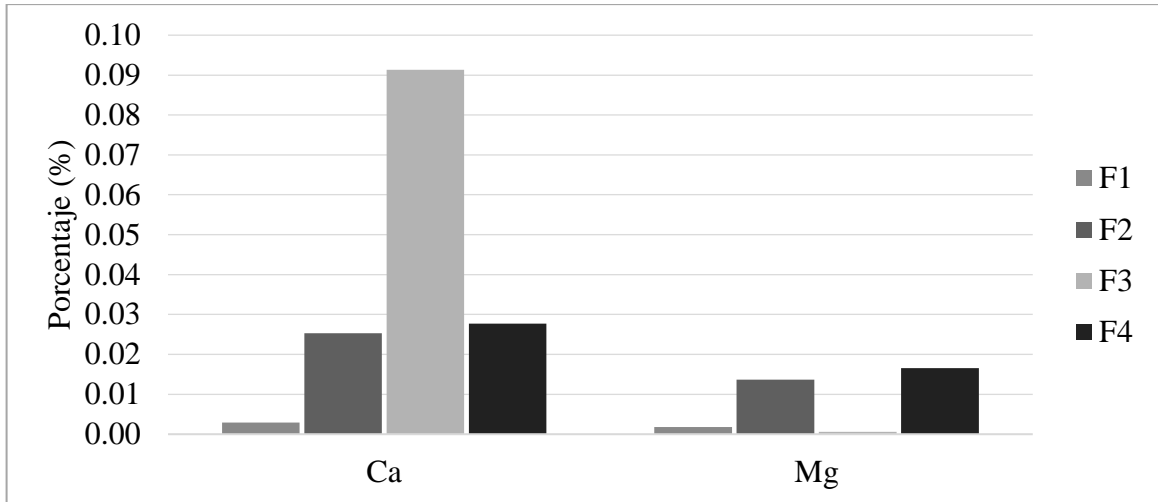


Figura 5. Porcentaje de calcio y magnesio de las formulaciones de biofertilizante.

El hierro (Fe) normalmente presenta una relación positiva con el potasio (K); es por ello que se observaron proporciones similares en las cuatro formulaciones. La fórmula F1, como en todos los resultados anteriores, presentó valores menores que las otras tres fórmulas (Figura 6). La fórmula F2 presentó valores menores de sodio (Na) y azufre (S), que F3. El alto contenido de Na de F3 pudo ser causado por el contenido de este mineral en la harina de roca utilizada. La fórmula F4 presentó bajo contenido de Na y Fe en comparación a las formuladas para el estudio. No obstante, ésta presentó mejor contenido de azufre, el cual es esencial para la actividad de los microorganismos ya que estos requieren 2.5% en peso de este elemento. Los micronutrientes presentes (Na, Fe y S) son parte de los requerimientos nutricionales de los microorganismos (Orozco y Solarte, 2003).

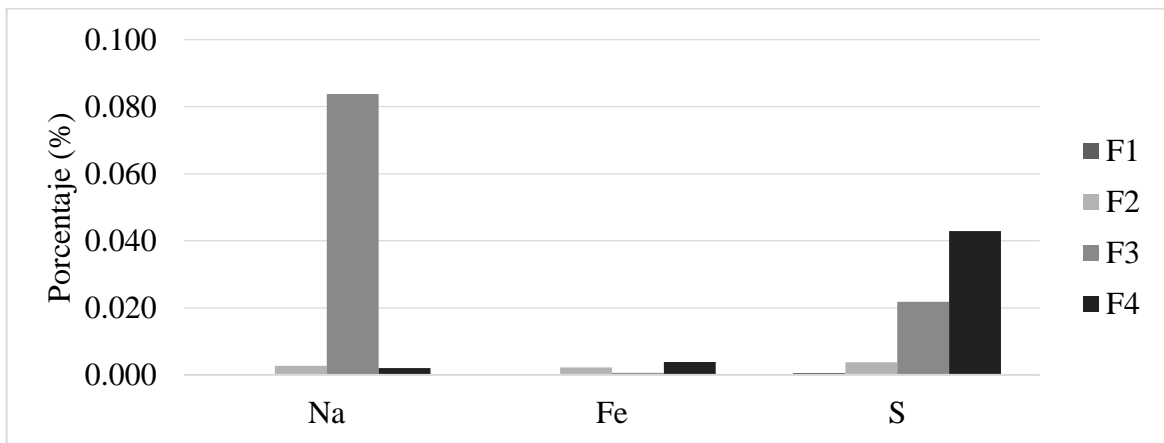


Figura 6. Porcentaje de sodio, hierro y azufre en las formulaciones de biofertilizante.

4. CONCLUSIONES

- A pesar de ser un inóculo elaborado artesanalmente, el proceso de elaboración del biofertilizante presentó medidas de control adecuadas para la sobrevivencia de los microorganismos. Este cumple con las condiciones necesarias para desarrollarse adecuadamente de una fase a otra. No obstante, necesita medidas de mantenimiento, como ser la incorporación de nuevas fuentes de alimento y energía que permitan a los microorganismos desarrollarse adecuadamente.
- Las cuatro formulaciones presentaron una relación Carbono:Nitrógeno más alta que la recomendada, debido a los valores bajos de nitrógeno. El pH fue ácido, lo que favoreció la fermentación anaeróbica. Se identificó a F2 como la formulación que contiene mayor porcentaje de nutrientes en comparación a las otras realizadas. La mayor parte de los micro y macro nutrientes caracterizados presentaron niveles bajos debido a la influencia del tiempo de fermentación y la materia orgánica. Estas variables son determinantes en la degradación de la materia orgánica y solubilidad de los nutrientes.
- El producto final del biofertilizante es un medio de cultivo, cuyo efecto de acción se debe a su contenido microbiológico y no específicamente a la cantidad de nutrientes que contiene. El biofertilizante MM ayuda a mejorar las condiciones del suelo al activar la actividad microbiana.

5. RECOMENDACIONES

- Estudiar la composición microbiológica de los biofertilizantes inoculados artesanalmente. Este análisis permitirá comprender mejor los procesos biogeoquímicos presentados y la solubilización de nutrientes en el biofertilizante. Además, ayudará a probar distintas formulaciones de los ingredientes que actúan específicamente en los microorganismos benéficos reproducidos.
- Elaborar formulaciones similares a las de este estudio con mayor tiempo de fermentación. Esto permitirá a los microorganismos degradar mayor cantidad de materia orgánica y por lo tanto solubilizar mayor cantidad de nutrientes.
- Buscar otros insumos orgánicos con alto contenido de nutrientes que complementen la acción del biofertilizante a base de MM. Estas pueden incluir productos de la Finca Agroecológica, Zamorano como lombrihumus y subproductos de cultivos.
- Aplicar los biofertilizantes elaborados en la Finca Agroecológica realizando estudios que permitan conocer su eficiencia en campo, con respecto a la productividad, resistencia a enfermedades y regeneración de los suelos.
- Realizar un análisis económico y financiero para conocer la rentabilidad del biofertilizante a base de los MM.
- Trabajar con los productores evaluados en el estudio para apoyarlos en la estandarización de fórmulas de biofertilizantes. Esto les permitirá optimizar el rendimiento y crear mejores formulaciones.

6. LITERATURA CITADA

- Acosta-Almánzar, H. (2012). *Microorganismos eficientes de montaña: evaluación de su potencial bajo manejo agroecológico de tomate en Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A10810e/A10810e.pdf>
- Acuña, O. (2003). *El uso de biofertilizantes en la agricultura. Taller de abonos orgánicos*. San Pedro de Montes Oca: Centro de investigaciones agronómicas de la universidad de Costa Rica.
- Almeida-Tamayo, M. y Cárdenas-Murillo, D. (2006). *Efecto del uso de Microorganismos Eficientes sobre la calidad del ensijale de pasto Mulato II*. (Tesis de pregrado) Universidad EAP Zamorano, Honduras.
- Ann Else, T., Pantle, C. y Amy, P. (2003). Boundaries for Biofilm Formation: Humidity and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(8), 5006-5010.
- Armenta-Bojórquez, A., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J., Apodaca-Sánchez, M., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. 6(1), 51-56.
- Baca, B. (agosto de 2000). Fijación biológica de nitrógeno. *Centro de Investigaciones Microbiológicas*, 7(38), 43.
- Barabasz, W., Albinska, D., Jaskowska, M. y Lipiec, J. (2002). Biological Effects of Mineral Nitrogen Fertilization on Soil Microorganisms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(3), 193-198.
- Bunch, R. (2015). Aprender de la historia para restaurar nuestros suelos. *Leisa revista de agroecología*, 21, 5-6.
- Campo-Martínez, A., Acosta-Sanchez, R., Morales-Velasco, S. y Prado, F. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79-87.
- Castro-Barquero, L., Murillo-Roos, M., Uribe-Lorío, L. y Mata-Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y Microorganismos de Montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de

- rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 21-36.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (2012). *Microorganismos. Guía Técnica 4*. El Salvador: Agencia de Cooperación Internacional de Agricultura del Gobierno de Japón.
- Centeno-Escoto, J. (2012). *Microorganismos benéficos de montaña como bioestimulantes y probióticos contribuyentes al bienestar animal: (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Ciencia Animal, Managua, Nicaragua.
- Cogger, C., Sulliva, D. y Kropf, J. (2001). *Cómo hacer y usar el compost*. Oregon: Oregon State University.
- Café Orgánico Marcala S.A. (2014). *Planta de Abonos Orgánicos*. Recuperado de de Café Orgánico MARCALA: <http://www.cafeorganicomarcala.net/abo-nosorganicos/>
- Cuá-González, S. (2009). *Evaluación de la fermentación de mezclas de suero láctico y melaza para la obtención de etanol*. Escuintla: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Díaz, S. (2016). Microorganismos de Montaña MM. (L. Ramos, Entrevistador)
- Enriquez-Pozo, F. (2013). *Comportamiento del hidróxido de sodio y potasio en función de la humedad y temperatura ambiental*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Félix, J., Sañudo, R., Rojo, G., Martínez, R. y Olalde, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1), 57-67.
- Fierer, N. y Jackson, R. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *The National Academy of Sciences*, 103(3), 626-631. Recuperado de <http://www.pnas.org/content/103/3/626.full>
- Funez, R., Trejo S., A. y Pineda, A. (2004). *Manual Técnico. Un enfoque de manejo integrado para el sostenimiento de la fertilidad de los suelos y la nutrición de los cultivos*. La Fe, Santa Barbara, Honduras: Instituto Hondureño del Café.
- García, A., Laurín, M., Llosá, J., Gonzálvez, V., Sanz, J. y Porcuna, J. (2008). Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecología*, 1, 75-88.
- Gómez, D. y Vásquez, M. (2011). Importancia de los microorganismos eficaces (EM). *Serie : Producción Orgánica de Hortalizas de Clima Templado. Abonos Orgánicos*. Cooperación Suiza en América Central. Tegucigalpa, Honduras:.

- Gullón, F., Soalleiro, R. y Merino, A. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Investigación agraria*, 16(3), 379-394.
- Higa, T. (1993). Una revolución para salvar la tierra. *Traducido por Del Mar Riera*.
- Higa, T. y Parr, J. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. *International Nature Farming Research Center*, 4-8.
- Instituto Nacional Formación Profesional. (2016). *Gobierno de la República de Honduras*. Recuperad de Instituto Nacional de Formación Profesional: <http://infop.hn/quienes-somos/>
- Laboratorio de Suelos Zamorano. (2016). *Informe de resultados de análisis de suelos*. EAP Zamorano, Ciencia y Producción Agropecuaria. Francisco Morazán, Honduras.
- Martínez-Viera, R., Dibut, B. y Ríos, Y. (2010). Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos Tropicales*, 31(3)00.
- Matoro-Arroyo, E. y Rogel-Quezada, J. (2004). Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Geocisa. División de Protección Ambiental*, 298-299. Recuperado de <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Aplsisbiosueaguconhidint.pdf>
- Méndez, M. y Viteri, S. (2007). Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 168-175.
- Orozco-Murillo, M. y Solarte, J. (2003). *Búsqueda del mejor medio de cultivo y modelamiento cinético para la obtención del ácido láctico a partir de glucosa por vía fermentativa*. Ingeniería Química. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pacheco, F., & Uribe, L. (s.f.). LACTOFERMENTOS. Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados. *Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica*, 11-15. Obtenido de <http://www.rapaluruaguay.org/organicos/articulos/Lactofermentos.pdf>
- Pinedo Mori, N. (2011). *Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de café (Coffea arabica L) en el distrito de Alonso de Alvarado Roque, provincia de Lamas*. Tarapoto, Perú: Universidad Nacional de San Martín. Facultad de Ciencias Agrarias. Obtenido de <http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/406/1/Nery%20Antonio%20Pinedo%20Mor%C3%AD.pdf>
- PNUD, FAO, & GEF. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: FAO.
- Restrepo R., J. (1998). *La idea y el arte de fabricar abonos orgánicos fermentados*. Managua: Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible.

- Rivera Aguilar, N., & Canizles Leal, M. (2004). Cinética de la hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3, 257-263. Obtenido de <http://www.rmiq.org/NEW%20page/Pdfs/Vol.%203,%20No.%203/4.pdf>
- Rodríguez, N., & Torres, Z. (2014). Producción de Microorganismos de Montaña para el Desarrollo de una Agricultura Orgánica. *Dirección General de Investigación. Universidad Peruana UNION*, 1. Recuperado el 3 de Julio de 2016, de http://conacin.upeu.edu.pe/wp-content/uploads/2014/10/CIn_3256.pdf
- Rubio, C., Hardisson, A., Martín, R., Báez, A., Martín, M., & Álvarez, R. (2002). Mineral composition of the red and green pepper (*Capsicum annuum*) from Tenerife Island. *European Food Research and Technology*, 501-504. Retrieved from <http://download.springer.com/static/pdf/37/art%253A10.1007%252Fs00217-002-0534-x.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs00217-002-0534-x&token2=exp=1475794866~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F37%2Fart%25253A10.1007%25252Fs00217-002-0534->
- SAN. (Mayo de 2012). *Sociedad Argentina de Nutrición*. Obtenido de Ajo: http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/Fact_sheet_AJO.pdf
- Solano Rivas, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2009). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados a su productividad. *Tecnología en Marcha*, 23(1), 39-46.
- Soria Fregoso, M., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *TERRA*, 19(4), 354-362.
- Stewart, J., & Guerrero, O. (2003). *Estudio de factibilidad para el establecimiento de una planta procesadora y comercializadora de Bokashi en la ciudad de Panamá*. Guácimo, Costa Rica: Universidad EARTH. Retrieved septiembre 2016, from http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/planta_procesadora_panama.pdf
- Suchini Ramírez, J. (2012). *Innovaciones* (Vol. 1). (Trifinio, Ed.) Guatemala, El Salvador, Honduras: CATIE. Retrieved Agosto 2016, from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A10933e/A10933e.pdf>
- Tarlera, S., Jangid, K., Ivester, A., Whitman, W., & Williams, M. (marzo de 2008). Microbial community succession and bacterial diversity in soils during 77000 years of ecosystem development. *Federation of European Microbiological Societies (FEMS) Microbiology Ecology*, 129-140. Obtenido de <http://www.hort.vt.edu/microeco/documents/Mic%20comm%20succession%20Tarlera%20et%20al.%202008%20FEMS.pdf>
- Vásquez, E., & Zúñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología aplicada*, 1726-2216. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>
- Vecinos Honduras. (Diciembre de 2013). *Vecinos Honduras Sustainable Rural Development*. Recuperado el 2 de Julio de 2016, de Vecinos Honduras: <http://www.vecinoshonduras.org/about-us/>

Vintimilla, M., & Ávila Segura, L. (2001). *Estudio del comportamiento del EM5 sobre los hongos Colletotrichum y Fusarium, causantes de la pudrición de corona en banano de la Región Atlántica de Costa Rica*. Guácimo, Costa Rica: Universidad EARTH. Retrieved septiembre 2016, from http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/hongos_pudricion_banano_costa_rica.pdf

Weatherford. (febrero de 2010). *Hidróxido de Potasio*. Obtenido de weatherford.com: <http://www.weatherford.com/doc/wft219600>

Zachariah, T. (2008). *Chemistry of Spices. Ginger*. Kerala: CABI.

Google Earth Pro V 7.1.5.1557. (17 de Diciembre de 2014). Honduras.
16 P 509142.60m E 1547383.31N16P m N elevación 1374 m alt. Ojo 1.74 km
CNS y Astrium.

7. ANEXOS



Anexo 1. Hojarasca en descomposición con colonias de microorganismos benéficos.



Anexo 2. Inoculación de microorganismos en medio líquido MMA.