



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Trabajo de investigación

Evaluación agronómica con enfoque agroecológico en un sistema diversificado de guayaba (*Psidium guajava* L.), nopal (*Opuntia ficus* L.), piña (*Ananas comosus* L.) y papaya (*Carica papaya* L.) utilizando vermicompost, Managua, Nicaragua, 2009-2011

AUTOR

Ing. Hugo René Rodríguez González

ASESORES

Ing. MSc. Aleida Alejandra López Silva

Dr. Dennis José Salazar Centeno

Lic. MSc. Verónica Guevara

MANAGUA, NICARAGUA

Febrero, 2014



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Trabajo de investigación

Evaluación agronómica con enfoque agroecológico en diversificación con los cultivos de guayaba (*Psidium guajava* L.), nopal (*Opuntia ficus* L.), piña (*Ananas comosus* L.) y papaya (*Carica papaya* L.) utilizando vermicompost, Managua, 2009-2011

AUTOR

Ing. Hugo René Rodríguez González

ASESORES

Ing. MSc. Aleida Alejandra López Silva

Dr. Dennis José Salazar Centeno

Lic. MSc. Verónica Guevara

**Presentado al honorable tribunal examinador
como requisito final para optar al grado de
Master en Agroecología y Desarrollo Sostenible**

MANAGUA, NICARAGUA

Febrero, 2014

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN		PÁGINA
	DEDICATORIA	i
	AGRADECIMIENTO	ii
	ÍNDICE DE CUADROS	iii
	ÍNDICE DE FIGURAS	v
	ÍNDICE DE ANEXOS	vii
	RESUMEN	viii
	ABSTRACT	ix
I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS	3
III	MATERIALES Y MÉTODOS	4
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
	4.1 Influencia de la diversificación de cultivos y aplicaciones de vermicompost sobre el suelo	14
	4.1.1 Análisis físico-químico de suelo	14
	4.1.2 Análisis microbiológico de suelo	28
	4.1.3 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	41
	4.1.4 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de nopal (<i>Opuntia ficcus-indica</i> L.)	47
	4.1.5 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de piña (<i>Ananas comosus</i> L.)	56
	4.1.6 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	64
V	CONCLUSIONES	70
VI	RECOMENDACIONES	72
VII	LITERATURA CITADA	73
VIII	ANEXOS	82

DEDICATORIA

El presente estudio se lo dedico a Dios, que nos ha dado la vida, voluntad, energía, inteligencia y destreza para realizar esfuerzos en el campo del conocimiento, aprendiendo algo nuevo con cada experiencia.

A mi padre José Santos Rodríguez Rodríguez (q.e.p.d.) por haberme dado la fortaleza, y enseñarme siempre el camino correcto hacia el éxito, a pesar de todos los tropiezos que existan en el transcurso de la vida.

A mi madre Ivania del Socorro Cardoza González quien durante años de vida se sacrificó para que no faltase nada.

A todos nuestros familiares en vida y a aquellos que ya no están presentes, de igual forma a todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo incondicional directa e indirectamente, durante todo este trabajo.

Rodríguez, H. R. 2014.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mis asesores MSc: Aleida López, Dr. Dennis Salazar y MSc. Verónica Guevara por su apoyo, orientación, paciencia y dedicación durante la elaboración de este trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial al Dr. Dennis Salazar y al Dr. Francisco Salmerón por haberme dado la oportunidad de optar a una beca dentro de tan prestigiada maestría.

Agradezco a MSc. Mercedes Ordoñez y al Dr. Henry Pedroza por sus consejos y orientaciones en el transcurso del desarrollo de la investigación.

Agradecimiento especial a la Universidad Nacional Agraria por prestarnos las condiciones necesarias para alcanzar nuestros propósitos con la realización de esta investigación, optando así al título de Master en Agroecología.

A los fondos PACI, colaboración económica del país de Suecia, que hicieron posible la realización de este proyecto.

A compañeros y amigos que día a día comparten alegrías y tristezas, pero a pesar de todo motivan.

A los productores de Diriamba, en especial a los productores que fueron seleccionados para visitar el ensayo, por su voluntad y participación.

A don Ivan García quien siempre nos dedicó tiempo y paciencia, en cada etapa de la investigación.

A todos los tesistas que han participado en las etapas intermedias de la investigación, para desarrollar el proceso de su culminación de estudios.

A los compañeros de la maestría, por sus aportes y discusiones, durante el tiempo que duró la maestría.

A los ingenieros, masters, doctores y especialistas en agroecología, que desarrollaron distintas temáticas en la maestría, por enriquecer nuestros conocimientos y facilitarnos nuevas experiencias que fortalecen nuestras prácticas diarias en el campo laboral.

A todas las personas que han colaborado con nosotros y nos han apoyado en la culminación de este trabajo.

Rodríguez, H. R. 2014.

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Análisis químico de vermicompost empleado en experimento, sede central UNA, 2009-2011.	5
2. Descripción de los tratamientos aplicados en experimento, sede central UNA, 2009-2011.	5
3. Características y manejo de los cultivos: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011.	6
4. Parámetros y métodos para el análisis de las propiedades físico-químicas de suelo; en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011.	7
5. Análisis microbiológico de suelos; en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011.	7
6. Resumen de variables y métodos en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011.	8
7. Resumen de análisis estadísticos y métodos en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011.	12
8. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost en el cultivo de la guayaba, UNA, 2009-2011.	15
9. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost, en el cultivo de nopal, UNA, 2009-2011.	15
10. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas propuestos para el cultivo de la guayaba si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011.	16
11. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas; propuestos para el cultivo de nopal, si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011.	16
12. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost en el cultivo de piña, UNA, 2009-2011.	18
13. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost, en el cultivo de papaya, UNA, 2009-2011.	18
14. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas; propuestos para el cultivo de la piña, si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011.	19

15. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas; propuestos para el cultivo de la papaya, si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011.	21
16. Tratamientos de vermicompost que alcanzaron los rangos óptimos de propiedades físico-químicas con diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) UNA, 2009-2011.	27
17. Géneros de hongos en suelo con aplicaciones de vermicompost y diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya), UNA, 2009-2011.	28
18. Géneros de bacterias en suelo con aplicaciones de vermicompost y diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) UNA, 2009-2011.	33
19. Géneros de actinomicetos en suelo con aplicaciones de vermicompost y diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) UNA, 2009-2011.	37
20. Interacciones cultivo-microorganismos: mutualismo (+ +), comensalismo (+ 0) (0 +), neutralismo (0 0), parasitismo (- +) de microorganismos en suelo con diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y aplicaciones de vermicompost, UNA, 2009-2011.	39
21. Análisis de sendero (path analysis) sobre el número de frutos y número de ramas en el cultivo de guayaba, Managua, 2009-2011.	43
22. Resultado de las variables de rendimiento en el cultivo de guayaba con aplicaciones de vermicompost, UNA, 2009-2011.	45
23. Resultado de las variables de rendimiento en el cultivo de nopal, UNA, 2009-2011.	53
24. Resultado de las variables de rendimiento en el cultivo de piña, UNA, 2009-2011.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Fijación del ión PO_4^{-3} mediante un puente de calcio (Gros, 1981).	21
2. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “n° de frutos cosechados”; B: “eje mayor de guayaba” y “eje menor de guayaba”; C: “peso de frutos” al aplicar vermicompost en el cultivo de guayaba, Managua, 2009-2011.	45
3. Comportamiento de la población en plantas de nopal, Managua, 2009-2011.	48
4. Variables del crecimiento en el cultivo de nopal, Managua, 2009-2011. A: Número de cladodios; B: Eje menor del cladodio (cm). C: Número de brotes.	50
5. Variables del rendimiento en el cultivo de nopal; A: “n° de cladodios cosechados”; B: “peso del cladodio cosechado”, Managua, 2009-2011.	53
6. Variables del rendimiento en el cultivo de nopal. A: “eje mayor del cladodio cosechado”; B: “eje menor del cladodio cosechado” y C: “Grosor del cladodio cosechado” en el cultivo de nopal, Managua, 2009-2011.	55
7. Comportamiento de la población en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.	57
8. Comportamiento de las variables del crecimiento en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011. A: Número de hojas; B: Longitud de la hoja “D”; C: Ancho máximo de la hoja “D”.	58
9. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “longitud de fruto”; B: “peso de fruto” y C: “peso total del fruto” en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.	62
10. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “longitud de la corona”, B: “peso de corona” y C: “grados brix” en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.	63
11. Comportamiento del rendimiento “frutos cosechados” en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.	63
12. Comportamiento de las variables del crecimiento; A: “diámetro superior del tallo”, B: “diámetro inferior del tallo”, C: “longitud del tallo” y D: “número de hojas” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.	65
13. Comportamiento de las variables del crecimiento; A: “número de hojas vivas” y B: “número de hojas muertas” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.	65

14. Comportamiento de las variables del crecimiento; A: “Altura de inserción de primera flor” y B: “Altura de inserción de primer fruto” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.	67
15. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “número de frutos cosechados”, B: “Eje menor de papaya” y C: “Eje mayor de papaya” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.	69
16. Comportamiento de las variables del rendimiento; “peso de frutos cosechados” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Plano de campo.	82
2. Clasificación de los suelos de Nicaragua según su pH.	83
3. Composición química de frutos de guayaba.	83
4. Composición química del cladodio en nopal.	84
5. Clasificación de suelos según resultados de pH, conductividad eléctrica y presencia de carbonato cálcico.	84
6. Recomendación de fertilización anual según la edad de la planta de guayaba.	85
7. Nutrientes extraídos por los órganos aéreos del papayo.	85
8. Niveles de disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo.	86
9. Microorganismos que participan del proceso de mineralización.	86
10. Comportamiento de las variables ambientales durante la investigación 2009-2011.	87
11. Variación en la población de hongos en suelo de pastizales, a diferente nivel de humedad.	87
12. Medidas resumen del crecimiento en el cultivo de guayaba.	88
13. Extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha ⁻¹ según diversos autores.	88

RESUMEN

Con el propósito de responder a preguntas de orden nutricional y biológico del suelo con un enfoque agroecológico se desarrolló el presente trabajo, en un terreno calcáreo, no salino, que permaneció en barbecho cinco años antes de iniciado el estudio. Se evaluó la implementación de una diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y tres dosis de vermicompost ($a_1:10$, $a_2:15$ y $a_3:20$ t (ha año)⁻¹). La investigación se inició en mayo del 2009 hasta diciembre del 2011 y el diseño usado fue cuasiexperimental en franjas pareadas. Las características físicas-químicas de suelo analizadas fueron: pH en H₂O, materia orgánica, N, arena, limo y arcilla en %; P disponible, Fe, Cu, Mn y Zn en ppm; K disponible, Ca y Mg en meq, conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la relación C/N. Desde el punto de vista biológico del suelo se determinaron presencia de hongos, bacterias y actinomicetos. Antes de iniciar el estudio en 2009, y durante el ensayo, se determinaron las variables físicas, químicas y biológicas del suelo. Para la interpretación agronómica de la nutrición para cada cultivo se hizo un análisis combinado entre los resultados de las propiedades físico-químicas y los rangos definidos para cada cultivo por la metodología propuesta por Quintana (1983). La diversificación de cultivos, influyó sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En el cultivo de guayaba si se aplica 20 t (ha año)⁻¹ hay que realizar aplicaciones suplementarias de Cu. Aplicaciones de a_1 y a_2 en nopal y papaya respectivamente, además de aplicaciones complementarias de Cu, también necesitan suplemento de P. Sin efecto antropogénico los microorganismos que predominaron fueron bacterias del género *Bacillus* y esporádicamente *Pseudomona* y *Sarcina*. Con la diversificación de cultivos y aplicaciones de vermicompost se incrementó la diversidad de géneros de microorganismos. El total de géneros de microorganismos, al concluir el estudio fueron 13; de éstos 10 fueron diferentes (Cinco hongos: *Curvularia*, *Aspergillus*, *Pestalotia*, *Fusarium*, *Penicillium*; cuatro bacterias: *Serratia*, *Erwinia*, *Sporolactobacillus* y *Caryophanon* y un actinomiceto: *Streptomyces*). Variables del crecimiento en el cultivo de guayaba demostraron que con un mayor número de ramas terciarias existe un 70 % de probabilidad de tener más frutos comerciales. En nopal, el tratamiento con los mejores resultados para variables del crecimiento es 15 t (ha año)⁻¹ cosechado cada 90 días. Para piña, se encontró resultados superiores con 10 t (ha año)⁻¹. Papaya obtuvo los mejores resultados con 20 t (ha año)⁻¹. Con el cultivo de guayaba el mejor rendimiento se alcanzó utilizando 20 t (ha año)⁻¹. En nopal un mayor número de cladodios se alcanza aplicando 15 t (ha año)⁻¹ cosechado cada 30 días. Un mayor peso en el cladodio se obtiene al aplicar 20 t (ha año)⁻¹, cosechado cada 90 días. La piña obtiene mayor número de frutos aplicando 15 t (ha año)⁻¹. En el cultivo de papaya un mayor número de frutos cosechados fue alcanzado con 15-20 t (ha año)⁻¹.

ABSTRACT

In order to answer questions by nutrition and biological soil with an agroecological approach developed in this work, on a calcareous, non-saline, which remained fallow five years before the study started. We evaluated the implementation of crop diversification (guava, nopal, pineapple and papaya) and three doses of vermicompost [a_1 : 10 a_2 : 15 a_3 : 20 t (ha year)⁻¹]. The investigation began in may 2009 until december 2011 and was quasi-experimental design used in paired stripes. The physical -chemical characteristics of soil were analyzed: pH in H₂O, organic matter, N, sand, silt and clay in % available P, Fe, Cu, Mn and Zn in ppm available K, Ca and Mg in meq, conductivity electrical μ S/cm and the C/N. From the standpoint of soil were determined biological presence of fungi, bacteria and actinomycetes. Before the study began in 2009, and during the test, the physical, chemical and biological soil variables were determined. For agronomic interpretation of nutrition for each culture was combined analysis between the results of physico-chemical properties and the ranges defined for each crop by the methodology proposed by Quintana (1983). Crop diversification influenced the physical, chemical and biological soil. In the cultivation of guava if applied 20 t (ha year)⁻¹ must make additional applications of Cu. Applications of a_1 and a_2 in nopal and papaya respectively, and Cu complementary applications also need to supplement P. Anthropogenic void microorganisms were predominant bacteria of the genus *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Sarcina* sporadically. With the diversification of crops and application of vermicompost increased gender diversity of microorganisms. The total number of genera of microorganisms, the end of the study were 13 and of these 10 were different (Five fungi : *Curvularia*, *Aspergillus*, *Pestalotia*, *Fusarium*, *Penicillium*, four bacteria : *Serratia*, *Erwinia*, and *Caryophanon*, *Sporolactobacillus* and actinomycete; *Streptomyces*). Growth variables guava cultivation showed a greater number of tertiary branches there is a 70% probability of having more marketable fruit. In nopal, treatment with the best results for growth variables is 15 t (ha year)⁻¹ harvested every 90 days. For pineapple, was found superior results with 10 t (ha year)⁻¹. Papaya obtained the best results with 20 t (ha year)⁻¹. With the cultivation of guava best performance was achieved using 20 t (ha year)⁻¹. Nopal in a greater number of cladodes is reached by applying 15 t (ha year)⁻¹ harvested every 30 days. A greater weight in the cladode was obtained by applying 20 t (ha year)⁻¹, harvested every 90 days. The pineapple fruit gets more applying 15 t (ha year)⁻¹. In papaya cultivation increased number of fruit was reached with 15 to 20 t (ha year)⁻¹.

I. INTRODUCCIÓN

Altieri (2001), plantea que la agroecología provee una guía para desarrollar agro ecosistemas que tomen ventajas de los efectos de la integración de la biodiversidad de plantas y animales. Tal integración aumenta las complejas interacciones y sinergismos y optimiza las funciones y procesos del agro ecosistema tales como la regulación biótica de organismos perjudiciales, reciclado de nutrientes y la producción y acumulación de biomasa, permitiendo así al agro ecosistema autoregular su propio funcionamiento. Por consiguiente, consiste en fomentar una agricultura resiliente al cambio climático, productiva y eficiente (energética, económica y biodiversidad), así como garantizar la seguridad alimentaria y nutricional.

La contextualización social unida al análisis agronómico ha generado evaluaciones complejas de la agricultura, especialmente en el caso del desarrollo regional (Altieri & Anderson, 1986).

En Nicaragua existen condiciones edafoclimáticas para establecer diferentes especies de cultivos perennes que pueden perfectamente convertirse en rubros de importancia nacional. Hay muchas tecnologías producto de investigaciones que se implementan en fincas con enfoque agroecológico, pero no se tiene información agronómica referente a sus efectos a mediano y largo plazo. Para esto en el 2009, la Universidad Nacional Agraria genera conocimientos en condiciones similares a las establecidas por el productor en un área denominada como “La Parcela Agroecológica”, en donde se incluye la diversificación de cultivos y la utilización de desechos orgánicos transformados a través de la lombricultura en vermicompost.

Hay muchas fincas en el país que fertilizan los cultivos con técnicas orgánicas como compost, bocashi, abonos verdes, vermicompost, entre otros; hemos seleccionado este último para obtener información preliminar del comportamiento de cultivos de importancia para la seguridad y soberanía alimentaria. Los contenidos nutricionales y las propiedades físico-químicas de especies perennes seleccionadas como Guayaba (*Psidium guajava* L.), Nopal (*Opuntia ficus-indica* L.), Piña (*Ananas comosus* L.) y Papaya (*Carica papaya* L.), son de importancia para la alimentación, la exportación, el desarrollo de medicamentos y aprovechamiento industrial. (Barbeau, 1990; Rose, 2006; MAGFOR, 2003).

El reciclaje de desechos orgánicos tiene su singular importancia dentro de los esfuerzos por mantener el equilibrio ambiental, comúnmente estos materiales son transportados fuera del sitio de donde provinieron originalmente y/o son eliminados en la basura o quemados, sin embargo deben regresar al suelo que ayudó a generarlos. La lombricultura en los últimos años ha tomado un papel protagónico en la transformación de desechos orgánicos y en la producción de fertilizantes de excelente calidad para ser utilizados en la agricultura (IICA, 2010).

El uso de vermicompost puede fijar agroquímicos en el suelo, o bien biodegradarlos, atenuando su lixiviación y evitando su entrada en las aguas subterráneas. Por tal motivo, el vermicompost puede ser considerado como material para ser utilizado en la biorrecuperación de suelos contaminados (Martínez, 2003).

Con las aplicaciones de materia orgánica al suelo no sólo se quiere responder a la necesidad de garantizar la mejora y/o conservación de este recurso natural: también ha de tomar en cuenta el consumo nutrimental de las especies vegetales a cultivar, de manera que resulte válida igualmente por el aporte neto de elementos que se consiga. Así, se deberá tomar en

cuenta la riqueza nutrimental de las distintas fuentes orgánicas empleadas en la agricultura; al respecto, cachaza, vermicompost y estiércoles de diverso origen, se cuentan entre los materiales de mayor consumo y reconocimiento (González, 2003).

Con el objetivo de responder a preguntas de orden nutricional y agroecológico se desarrolló el presente trabajo. Se debe señalar que esta investigación es del tipo exploratorio, no hay registros en el pasado de experimentos donde se haya evaluado la utilización de vermicompost, sobre estas especies vegetales (guayaba, nopal, piña y papaya), a un nivel riguroso. Sí, hay estudios como los reportados por Ferruzzi (2007); Schuldt (2006); García (2002); García (2006); Vásquez (1999); y otros, donde afirman que el vermicompost influye sobre la variabilidad de las propiedades físico-químicas del suelo. Por tanto, poseer un testigo no era prioridad, bajo esta perspectiva se consideró como referencia primordial un análisis de suelo inicial, construido como una fotografía estática en el tiempo; ofreciendo las características físico-químicas presentes en el suelo, antes del inicio de la investigación con los dos factores de estudio; los cultivos y el vermicompost. Por todo lo antes expuesto se han planteado los siguientes objetivos.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar con enfoque agroecológico el comportamiento de las propiedades físico-químicas de suelo, microorganismos, crecimiento y rendimiento en la diversificación de cultivos de guayaba, nopal, piña y papaya utilizando tres dosis de vermicompost.

2.2 Objetivos específicos

1. Proponer rangos óptimos para propiedades físico-químicas de suelo y dosis adecuadas de vermicompost para aplicar en la diversificación de cultivos; guayaba, nopal, piña y papaya.
2. Identificar los géneros, las fluctuaciones poblacionales, las interacciones y los roles de los microorganismos en el suelo en la diversificación de cultivos; guayaba, nopal, piña y papaya aplicando tres dosis de vermicompost.
3. Determinar la influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento en la diversificación de cultivos de guayaba, nopal, piña y papaya utilizando tres dosis de vermicompost.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y fechas de estudio

El presente estudio se realizó, en la sede central de la Universidad Nacional Agraria (UNA) de Nicaragua, ubicada en 12°08'58.72"N y 89°09'42.38" O, a 56 m de altitud, durante el período 2009-2011.

En estas coordenadas geográficas el terreno se encontraba en barbecho al menos durante los últimos 5 años antes de iniciar el estudio, entre el 2004-2009. El descanso de este suelo permite que las condiciones iniciales para la investigación sean estables, debido a la característica tampón de todo suelo al entrar en inactividad agrícola (Fassbender, 1969).

El clima predominante es Sabana Tropical según clasificación de Koppen (1938). Este clima, se caracteriza por presentar una marcada estación seca de cuatro a cinco meses de duración, extendiéndose principalmente entre los meses de diciembre a abril (Gutiérrez, 1990).

El promedio de precipitación en el período 2009-2011 fue de 301.8 mm (INETER, 2011). El suelo presentó características franco-arenoso con contenido de materia orgánica de 3.6% y pH ligeramente ácido (LABSA, 2009).

El suelo pertenece a la serie La Calera, que son suelos pobremente drenados, negros, superficiales, calcáreos que contienen sales y son altos en sodio intercambiable. Se han derivado de sedimentos lacustres y aluviales. Se encuentran en las planicies bajas y planas, que se extienden al sur del Lago de Managua hasta la Estación Experimental La Calera. Limitan con los suelos Sábana Grande, Cofradías, Mercedes y Zambrano (Catastro e Inventario de Recursos Naturales, 1971).

3.2 Diseño metodológico

El material genético utilizado fue: guayaba (variedad "Taiwanesa"), nopal (variedad "sin espinas"), piña (variedad "MD-2") y papaya (variedad "Red Lady"), estas variedades fueron seleccionadas, porque existe poca información sobre su respuesta al uso de vermicompost durante períodos prolongados de aplicación. La separación entre especies fue de 1 m.

Los tratamientos a evaluar fueron el factor A; tres dosis de vermicompost (10, 15, 20) t (ha año)⁻¹ de manera aleatoria dentro de cada cultivo (guayaba, nopal, piña y papaya) y solamente para el cultivo de nopal, se evaluó un factor B; tres niveles de frecuencia de cosecha (30, 60, 90 días). Ver Anexo 1.

La selección de dichas dosis obedece a la búsqueda exploratoria de resultados, a partir de aplicaciones de vermicompost, en términos proporcionales, para deducir de los resultados; la influencia de las mismas sobre las variables estudiadas.

Para este ensayo se dispuso de 0.174 ha en total, donde se estableció un diseño cuasiexperimental en franjas pareadas, el tiempo definido para la evaluación fue de dos años. El vermicompost distribuido en las diferentes dosis poseía las siguientes características (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico de vermicompost empleado en experimento, sede central UNA, 2009-2011

Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Hierro (Fe)	Cobre (Cu)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)	Humedad
%					Ppm				%
1.31	1.05	0.64	1.90	0.40	232	65	510	120	82.91

La descripción de los tratamientos, para cada uno de los cultivos establecidos, se muestran a continuación.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos aplicados en el experimento, sede central UNA, 2009-2011

Cultivo	Tratamientos	Vermicompost		Frecuencia de cosecha	Densidad poblacional
		Dosis/planta (kg año) ⁻¹	t (ha año) ⁻¹		
Guayaba	a ₁	4	10	MC	(3 m x 3 m)
	a ₂	6	15	MC	1111
	a ₃	8	20	MC	plantas*ha ⁻¹
Nopal	a ₁ b ₁	0.5	10	30 días	(0.5 m x 1 m) 20 000 plantas*ha ⁻¹
	a ₁ b ₂	0.5	10	60 días	
	a ₁ b ₃	0.5	10	90 días	
	a ₂ b ₁	0.75	15	30 días	
	a ₂ b ₂	0.75	15	60 días	
	a ₂ b ₃	0.75	15	90 días	
	a ₃ b ₁	1	20	30 días	
	a ₃ b ₂	1	20	60 días	
	a ₃ b ₃	1	20	90 días	
Piña	a ₁	0.4	10	MC	(0.40 m x 1 m)
	a ₂	0.6	15	MC	25000
	a ₃	0.8	20	MC	plantas*ha ⁻¹
Papaya	a ₁	4	10	MC	(2 m x 2 m)
	a ₂	6	15	MC	2 500
	a ₃	8	20	MC	plantas*ha ⁻¹

* MC: Madurez comercial.

3.3 Manejo del ensayo

En los cuatro cultivos establecidos se desarrollaron diferentes prácticas a lo largo de dos años de evaluación. En el cuadro 3 se detallan las actividades llevadas a cabo de correspondencia para cada cultivo.

Cuadro 3. Características y manejo de los cultivos: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011

Cultivo	Manejo agronómico de cada cultivo
Guayaba	Siembra: 21 de agosto 2009. Manejo de tejidos y frutas: cada 90 días. Manejo de plagas: <i>Ceratitis capitata</i> W. (Maya Duroport + bolsa plástica). Manejo de arvenses: Control mecánico. Cosecha: De 180 a 730 días después de siembra (dds).
Nopal	Siembra: 6 de mayo de 2009. Manejo de enfermedades: <i>Pseudomona sp.</i> (extracción de planta infectada y enterradas). Manejo de arvenses: Control mecánico. Cosecha: De 270 a 730 dds.
Piña	Preparación de suelo: 1 pase de grada. Siembra: 3 de julio de 2009. Manejo de enfermedades: <i>Erwinia carotovora</i> J. (extracción de planta infectada y enterradas). Manejo de arvenses: Control mecánico. Técnicas especiales: Inducción floral (Biofertilizante + Carburo + Suero). Cosecha: De 540 a 730 dds.
Papaya	Siembra: 21 de agosto de 2009. Manejo de plagas: <i>Toxotrypana curvicauda</i> G. (Torula bórax y Spintor 12 SC). Manejo de arvenses: Control mecánico. Cosecha: De 210 a 730 dds.

3.4 Variables evaluadas

Las propiedades físico-químicas de los suelos así como la actividad microbiana en este representan dos factores importantes como resultado del manejo. Las variaciones monitoreadas de estas características muestran resultados benéficos o en caso contrario una reducción en la fertilidad de los suelos. Para conocer la variación se realizaron análisis anuales; los parámetros y métodos utilizados para medir ambos factores se detallan en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4: Parámetros y métodos para el análisis de las propiedades físico-químicas de suelo; en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011

Parámetro	Método
Potencial de hidrógeno (pH).	pH-KCL, pH-H ₂ O (Mc Lean, 1982).
Materia orgánica (MO).	Walkley-Black (Walkey & Black, 1934).
Nitrógeno (N).	Método digestión Kjeldahl (ISRIC, 1995).
Fósforo disponible (P-disp), potasio (K-disp), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn).	Método de Olsen modificado (ICA, 1989).
Conductividad eléctrica (CE).	Método del conductivímetro (Matheus <i>et al.</i> , 1995).
Arena (Are.), Limo (L.), Arcilla (Arc.).	Método de Bouyoucos (USDA, 1996).
Magnesio (Mg) y calcio (Ca).	Por espectrofotometría de absorción atómica (Reeuwijk, 1995).
Relación carbono/nitrógeno (C/N).	Factor de Van Bemmelen (Marañés <i>et al.</i> , 1998).

Cuadro 5. Análisis microbiológico de suelos; en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011

Microrganismo	Medios de cultivo	Método
Hongos	PDA (AOAC, 1995)	Aislamiento por dilución de esporas (Gutiérrez, 2012)
Bacterias	Agar nutritivo (APHA, 1923)	Aislamiento por dilución en serie (Gutiérrez, 2012)
Actinomicetos	Agar avena (AOAC, 1995)	Aislamiento por dilución de esporas (Gutiérrez, 2012)

Las variables utilizadas para conocer el comportamiento del crecimiento y rendimiento, de los cultivos en la diversificación, se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Resumen de variables y métodos en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011

Variable dependiente	Cultivo	Variable independiente	Método
Crecimiento	Guayaba	<i>Número de ramas secundarias (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de frutos en ramas secundarias (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de ramas terciarias (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de frutos en ramas terciarias (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de frutos totales (n°)</i>	Conteo
	Nopal	<i>Número de brotes (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de cladodios (n°)</i>	Conteo
		<i>Eje menor del cladodio (cm)</i>	Regla
	Piña	<i>Número de hojas (n°)</i>	Conteo
		<i>Longitud de hoja D (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Ancho máximo de hoja D (cm)</i>	Cinta métrica
	Papaya	<i>Diámetro superior del tallo (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Diámetro inferior del tallo (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Longitud del tallo: (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Número de hojas (n°)</i>	Conteo
		<i>Altura de inserción de primera flor (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Altura de inserción de primer fruto (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Número de hojas vivas (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de hojas muertas (n°)</i>	Conteo
Rendimiento	Guayaba	<i>Población (n°)</i>	Conteo
		<i>N° de frutos cosechados (n°)</i>	Conteo
		<i>Eje mayor de guayaba (cm)</i>	Vernier
		<i>Eje menor de guayaba (cm)</i>	Vernier
		<i>Peso de frutos (g)</i>	Balanza electrónica
	Nopal	<i>Población (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de cladodios cosechados (n°)</i>	Conteo

		<i>Eje mayor del cladodio cosechado (EMCC) (cm)</i>	Regla
		<i>Eje menor del cladodio cosechado (EMECC) (cm)</i>	Regla
		<i>Grosor del cladodio cosechado (G) (cm)</i>	Vernier
		<i>Peso del cladodio cosechado (g)</i>	Balanza electrónica
	Piña	<i>Población (n°)</i>	Conteo
		<i>Frutos cosechados (n°)</i>	Conteo
		<i>Longitud de corona (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Longitud de fruto (cm)</i>	Cinta métrica
		<i>Peso de corona (g)</i>	Balanza electrónica
		<i>Peso de fruto (g)</i>	Balanza electrónica
		<i>Grados brix (%)</i>	Refractómetro
		<i>Peso total del fruto (g)</i>	Balanza electrónica
	Papaya	<i>Población (n°)</i>	Conteo
		<i>Número de frutos cosechados (n°)</i>	Conteo
		<i>Peso de frutos cosechados (g)</i>	Balanza electrónica
<i>Eje mayor de papaya (cm)</i>		Cinta métrica	
<i>Eje menor de papaya (cm)</i>		Cinta métrica	

3.5 Análisis de los datos

Se utilizó estadística descriptiva, análisis paramétrico, no paramétricos y análisis multivariado de correspondencia con las variables descritas y sus objetivos específicos correspondientes.

Análisis de datos en propiedades físico-químicas de suelo

Antes de hacer referencia a los procedimientos llevados a cabo para analizar los resultados obtenidos a través del enfoque agroecológico se deben definir qué elementos conllevan a tomar la decisión de evitar el manejo de suelos propuesto por la agricultura convencional.

Dentro de sus paradigmas, la agricultura convencional parte de la premisa de que existe una demanda exacta del cultivo a establecer. La fórmula general usada es:

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{\text{De} - \text{Di}}{\text{E}}$$

De donde:

De= Demanda de nutrimentos del cultivo.

Di= Disponibilidad de nutrimentos en el suelo.

E= Eficiencia del fertilizante

Esta ecuación se basa en entradas y salidas con un desbalance que propicia el desgaste progresivo de la fertilidad del suelo. Y se demuestra matemáticamente así:

Los siguientes datos son hipotéticos asignados para ejemplificar como ha funcionado dicha ecuación.

Año 1

Sean:

De=10; Di=6; E=0.5

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{10 - 6}{0.5} = \frac{4}{0.5} = 8$$

Nótese que la demanda a suplir por el fertilizante es 4, y para asumirla con una eficiencia del 50 % se debe aplicar 8. Los 6 que proporciona el suelo se entienden serán utilizados por el cultivo. Finalmente el saldo disponible de este nutriente en el suelo, luego de la cosecha será 0. Por esta razón, para ciclos posteriores, se requiere aplicar fertilizantes a magnitudes superiores comparado con las utilizadas en cosechas iniciales. Dentro del ejemplo, para el año 2 y posteriores se tendrá que aplicar una dosis superior a 8. Esta simulación demuestra una posible erosión progresiva del suelo en sus propiedades físico-químicas.

Otra debilidad que posee este método convencional es no tomar en cuenta que las especies vegetales, acordes a su fisiología, se nutren mejor con diferentes niveles de propiedades físico-químicas en el suelo. Es decir, esta ecuación no trata de buscar, el mejor nivel de ajuste de fertilidad en el suelo, para la planta a establecer; sino que asume que bajo cualquier nivel encontrado, con el análisis de suelo inicial, simplemente se proporciona una cantidad

determinada de fertilizante con cierta eficiencia y da por hecho que el suministro llega a la planta correctamente; sin la visualización de posibles bloqueos y antagonismos entre nutrientes.

Una aplicación de vermicompost no solo lleva un nutriente en su contenido, esto coloca en desventaja a este biocorrector al calcular sus dosis de manera convencional utilizando el porcentaje de nitrógeno como único parámetro (Cuadro 1).

Tomando en cuenta todo esto, se asignó tres niveles de vermicompost iguales para las cuatro especies y se hizo seguimiento a las mismas durante 2 años, actuando como observadores de los hechos.

Estas observaciones, dentro de los diferentes niveles asignados aleatoriamente y con magnitudes proporcionales entre sí, se registraron en bases de datos acorde a las variables preestablecidas en la metodología, para verificar la posible influencia y variabilidad en las propiedades del suelo, acordes a la presencia de cada especie en el campo.

Se trabajó sin prejuicios de la dosis inicial y en concreto dirigidos hacia la búsqueda de un balance aproximado en las propiedades físico-químicas, que proporcionaran a la especie respectiva, el mejor resultado observado.

Quintana (1983) propone escalas con categorías definidas para las propiedades físico-químicas del suelo, basado en la consecuente influencia observada de éstas sobre el comportamiento del rendimiento en maíz (*Zea mays* L.). Dicha variabilidad se obtuvo aplicando fertilizantes de origen sintético. Las escalas propuestas por Quintana no son de utilidad en este trabajo; al evidenciar que los cultivos en estudio son guayaba (perenne), nopal (perenne), piña (bianaual), papaya (bianaual); además el aporte suministrado al suelo para inducir una posible variabilidad es el vermicompost, originado de las deyecciones de la lombriz de tierra *Eisenia foétida* S., raza roja californiana. Estas deyecciones presentan contenidos y proporciones en sus propiedades físicoquímicas diferentes a los aportados por cualquier fertilizante sintético.

Para definir las nuevas escalas agroecológicas se utilizó la metodología de Quintana (1983) con modificaciones en su análisis estadístico. Primero se graficaron los datos del rendimiento en el eje “y” junto a los niveles del elemento químico determinados para el suelo representados en el eje “x”. Luego se graficaron líneas de tendencia lineal, cuadrática y cúbica. Al apreciarlas se definió un corte de reclasificación de los datos en rangos “bajo”, óptimo y “alto”. Los datos seleccionados dentro del rango óptimo, son aquellos que por sus altos valores representaban en promedio los mejores rendimientos alcanzados con el nivel del elemento estudiado en el laboratorio. Esta afirmación se comprobó estadísticamente al realizar separaciones de medias entre los datos del rendimiento reclasificados dentro del rango determinado para la propiedad físico-química. Las pruebas de hipótesis correspondieron a análisis de varianza y separación de medias según Tukey para comportamiento paramétrico en el rendimiento y separación de rangos según Kruskal Wallis al 95 % de confianza para comportamiento no paramétrico del mismo.

A continuación se detallan las variables y su análisis estadístico correspondiente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resumen de análisis estadísticos y métodos de medición de variables en cultivos de: guayaba, nopal, piña y papaya; sede central UNA, 2009-2011

Variables y métodos por cultivo			
Variable dependiente	Variables independientes		Análisis estadístico
Suelo	Propiedades físico-químicas y microorganismos en suelo.		Análisis descriptivo, ANDEVA (Tukey) y Kruskal Wallis
Crecimiento	Guayaba	<i>Número de ramas secundarias (n°)</i>	Kruskal Wallis
		<i>Número de frutos en ramas secundarias (n°)</i>	
		<i>Número de ramas terciarias (n°)</i>	
		<i>Número de frutos en ramas terciarias (n°)</i>	
		<i>Número de frutos totales (n°)</i>	
	Nopal	<i>Número de brotes (n°)</i>	ANDEVA (Tukey)
		<i>Número de cladodios (n°)</i>	
		<i>Eje menor del cladodio (cm)</i>	
	Piña	<i>Número de hojas (n°)</i>	Kruskal Wallis
		<i>Longitud de hoja D (cm)</i>	
		<i>Ancho máximo de hoja D (cm)</i>	
		<i>Diámetro superior del tallo (cm)</i>	ANAVAM (Hotelling)
	<i>Diámetro inferior del tallo (cm)</i>		
	Papaya	<i>Longitud del tallo (cm)</i>	ANAVAM (Hotelling)
		<i>Número de hojas (n°)</i>	
<i>Altura de inserción de primera flor (cm)</i>		Kruskal Wallis	
<i>Altura de inserción de primer fruto (cm)</i>			
<i>Número de hojas vivas (n°)</i>		ANAVAM (Hotelling)	
<i>Número de hojas muertas (n°)</i>			

Rendimiento	Guayaba	<i>Población (n°)</i>	Análisis descriptivo	
		<i>N° de frutos cosechados (n°)</i>	ANAVAM (Hotelling)	
		<i>Eje mayor de guayaba (cm)</i>		
		<i>Eje menor de guayaba (cm)</i>		
		<i>Peso de frutos (g)</i>		
			<i>Población (n°)</i>	Análisis descriptivo
	Nopal	<i>Número de cladodios cosechados (n°)</i>	Kruskal Wallis	
		<i>Peso del cladodio cosechado (g)</i>		
		<i>Eje mayor del cladodio cosechado (cm)</i>	ANAVAM (Hotelling)	
		<i>Eje menor del cladodio cosechado (cm)</i>		
		<i>Grosor del cladodio cosechado (cm)</i>		
		<i>Población (n°)</i>		Análisis descriptivo
	Piña	<i>Frutos cosechados (n°)</i>	ANDEVA (Tukey)	
		<i>Longitud de fruto (cm)</i>		
		<i>Peso de fruto (g)</i>	Kruskal Wallis	
		<i>Peso total del fruto (g)</i>		
		<i>Longitud de corona (cm)</i>		
		<i>Peso de corona (g)</i>		
	Papaya	<i>Grados brix (%)</i>	Análisis descriptivo	
		<i>Población (n°)</i>		
<i>Número de frutos cosechados (n°)</i>		Kruskal Wallis		
<i>Peso de frutos cosechados (g)</i>				
<i>Eje mayor de papaya (cm)</i>				
<i>Eje menor de papaya (cm)</i>				

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Influencia de la diversificación de cultivos y aplicaciones de vermicompost sobre el suelo

La conversión de sistemas convencionales de producción, caracterizados por monocultivos manejados con altos insumos a sistemas diversificados de bajos insumos, se basa en dos pilares agroecológicos: la diversificación del hábitat y el manejo orgánico del suelo. El funcionamiento óptimo del agroecosistema depende de diseños espaciales y temporales que promueven sinergias entre los componentes de la biodiversidad arriba y abajo del suelo, las cuales condicionan procesos ecológicos claves como la regulación biótica, el reciclaje de nutrientes y la productividad. La evolución de la transición agroecológica puede ser monitoreada por un conjunto de indicadores de sustentabilidad que estiman la calidad del suelo y la salud del cultivo (Altieri & Nicholls, 2007)

4.1.1 Análisis físico-químico de suelo

En este estudio se muestran los resultados obtenidos del análisis de las propiedades físicas y químicas presentes en el suelo antes (2009) y durante la investigación (2010-2011) en los cuadros 8, 9, 12 y 13. En los cuadros 10, 11, 14 y 15 se muestran los rangos óptimos de las propiedades físico-químicas según la metodología adaptada de Quintana (1983). El análisis combinado entre los resultados de las propiedades físico-químicas de las parcelas y los rangos definidos para cada cultivo por la metodología adaptada de Quintana facilita la interpretación agronómica de los análisis de suelos alcalinos, con comportamiento similar a la serie “La Calera”, donde se desee establecer un sistema diversificado con las cuatro especies en estudio.

La variabilidad existente en los suelos dependerá de las modificaciones ocurrientes con el paso del tiempo (Cuadros 8, 9, 12 y 13). Si los cambios experimentados por el suelo se desarrollan de manera progresiva, bajo condiciones de igualdad ambiental, junto a una notable tendencia de cambio sobre las propiedades del suelo; luego de aplicar dosis de vermicompost, es imperativo que se discuta sobre los beneficios y las desventajas atribuidas a esta técnica agrícola.

Las escalas propuestas como óptimas (Cuadros 10, 11, 14 y 15) para una diversificación de cultivo con guayaba, nopal, piña y papaya, permiten afirmar, si las variaciones de las propiedades del suelo observadas, en un año u otro corresponden a las deseables para un buen rendimiento.

Al verificar el comportamiento de las propiedades químicas del suelo de manera independiente, comparadas entre tratamientos, a lo largo del tiempo se pudo observar que el potencial de hidrógeno (pH) experimenta una tendencia desde “ligeramente alcalino” a “fuertemente alcalino” para los niveles de vermicompost en estudio, en suelos alcalinos, estas variaciones son consideradas positivas para los cultivos; según la escala publicada por Quintana (1983) (Anexo 2). En los cuadros 10, 11, 14 y 15 se aprecia un rango óptimo de pH, para una diversificación de cultivos; con guayaba entre 8.4-8.5, en nopal entre 8-8.4, para piña entre 7.52-7.9 y para papaya entre 7.4-8.2.

Cuadro 8. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost en el cultivo de la guayaba, UNA, 2009-2011

Año	T	pH	MO	N	P-disp	CE	K-disp	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Prof.	Partículas (%)			Clase Textural	C/N
		(H ₂ O)	(%)	(ppm)	(μS/cm)	(meq/100 g suelo)	(ppm)			(cm)	Arc.	L.	Are.						
2009	-	7.71	3.38	0.17	19.30	154.50	4.61	22.34	5.46	5.60	1.12	37.60	3.12	20.00	23.00	20.00	57.00	F.A.A.	11.5327
2010	a ₁	8.45	2.17	0.11	4.00	162.40	2.82	18.58	5.00	3.76	0.48	0.24	28.80	20.00	15.80	22.60	61.60	F.A.	11.4427
	a ₂	8.25	0.60	0.03	4.60	129.10	2.15	12.73	3.42	32.40	4.40	1.20	54.24	20.00	11.80	20.60	67.60	F.A.	11.6009
	a ₃	8.50	1.90	0.10	4.40	166.10	3.29	4.51	6.74	1.36	nd	0.16	17.44	20.00	15.80	24.60	59.60	F.A.	11.0209
2011	a ₁	8.50	1.62	0.08	1.00	131.20	3.52	27.82	7.37	4.88	0.88	1.36	26.88	20.00	11.60	22.20	66.20	F.A.	11.7459
	a ₂	7.96	2.28	0.11	1.80	93.40	3.73	20.12	5.46	43.20	5.28	3.28	56.48	20.00	13.60	22.20	64.20	F.A.	12.0228
	a ₃	8.43	2.18	0.11	1.00	162.20	4.10	26.96	7.90	nd	0.08	0.72	20.16	20.00	15.60	24.20	60.20	F.A.	11.4955

Cuadro 9. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost, en el cultivo de nopal, UNA, 2009-2011

Año	T	pH	MO	N	P-disp	CE	K-disp	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Prof.	Partículas (%)			Clase Textural	C/N
		(H ₂ O)	(%)	(ppm)	(μS/cm)	(meq/100 g suelo)	(ppm)			(cm)	Arc.	L.	Are.						
2009	-	7.71	3.38	0.17	19.30	154.50	4.61	22.34	5.46	5.60	1.12	37.60	3.12	20.00	23.00	20.00	57.00	F.A.A.	11.5327
2010	a ₁	8.35	1.30	0.07	2.90	157.10	2.65	28.76	5.10	1.20	nd	0.08	12.96	20.00	13.80	22.60	63.60	F.A.	10.7723
	a ₂	8.23	1.90	0.10	4.20	174.90	2.63	28.50	6.15	0.48	nd	nd	4.72	20.00	15.80	24.60	59.60	F.A.	11.0209
	a ₃	7.41	1.70	0.08	3.60	67.70	1.95	16.41	5.07	24.88	4.96	0.48	29.36	20.00	13.80	24.60	61.60	F.A.	12.3260
2011	a ₁	7.62	1.88	0.09	3.30	180.40	2.61	26.39	5.63	10.16	1.84	1.76	32.64	20.00	13.60	24.20	62.20	F.A.	12.1165
	a ₂	8.26	2.59	0.13	3.90	139.90	3.46	4.06	7.90	nd	nd	0.80	18.64	20.00	15.60	24.20	60.20	F.A.	11.5563
	a ₃	7.46	2.48	0.12	2.00	46.60	2.17	18.40	5.82	48.32	6.24	2.08	44.48	20.00	15.60	20.20	64.20	F.A.	11.9876

T: Tratamiento; F.A.A.: Franco Arcillo-Arenoso; F.A.: Franco Arenoso.

Cuadro 10. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas propuestos para el cultivo de la guayaba si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011

Descripción	Bajo	Óptimo	Alto
	{Escala}, (categoría), rendimiento (frutos/planta/corte)		
Nitrógeno (%)	{<0.09} (b) 8.13	{0.09-0.11}(a) 13.77	{>0.11}
pH	{<8.4} (b) 7.1	{8.4-8.5} (a) 14.29	{>8.5}
Materia orgánica (%)	{<1.9} (b) 8.13	{1.9-2.2} (a) 13.77	{>2.2}
Fósforo (ppm)	{<3.6} (b) 8.53	{3.6-4.8} (a) 15.25	{>4.8}
Potasio (meq/100 g suelo)	{<3.2} (b) 11.01	{3.2-3.4} (a) 23.73	{>3.4}
Calcio (meq/100 g suelo)	{<4}	{4-6} (a) 23.73	{>6} (b) 9.52
Magnesio (meq/100 g suelo)	{<6.2} (b) 9.4	{6.2-7.2} (a) 23.73	{>7.2} (b) 9.72
Hierro (ppm)	{<0.18}	{0.18-6} (a) 15.31	{>6} (b) 7.1
Cobre (ppm)	{<0.1}	{0.1-0.9} (a) 11.14	{>0.9} (b) 7.1
Zinc (ppm)	{<0.15}	{0.15-0.8} (a) 16.31	{>0.8} (b) 7.47
Manganeso (ppm)	{<16}	{16-22} (a) 17.47	{>22} (b) 9.1
Relación Carbono/Nitrógeno	{<11}	{11-11.4} (a) 23.73	{>11.4} (b) 9.52
Arcilla (%)	{<15.6} (b) 7.47	{15.6-16} (a) 16.31	{>16}

Cuadro 11. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas; propuestos para el cultivo de nopal, si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011

Descripción	Bajo	Óptimo	Alto
	{Escala}, (categoría), rendimiento (cladodios/planta/corte)		
Nitrógeno (%)	{<0.07}	{0.08-0.10} (a) 5.59	{>0.10} (b) (2.54)
pH	{<8} (b) 3.7	{8-8.4} (a) 5.38	{>8.4}
Materia orgánica (%)	{<1.1}	{1.1-1.5} (a) 6.42	{>1.5} (b) 4.18
Fósforo (ppm)	{<3.5} (b) 3.56	{3.5-4.2} (a) 5.53	{>4.3}
Potasio (meq/100 g suelo)	{<1.9}	{1.9-2.9} (a) 4.92	{>2.9} (b) 2.71
Calcio (meq/100 g suelo)	{<15} (b) 2.71	{15-30} (a) 5.05	{>30}
Magnesio (meq/100 g suelo)	{<5}	{5.5-6.5} (a) 4.92	{>6.5} (b) 2.71
Hierro (ppm)	{<1}	{0.4-24} (a) 5.2	{>24} (b) 4.5
Cobre (ppm)	{<4.5} (b) 2.19	{4.5-6.5} (a) 4.5	{>6.5}
Zinc (ppm)	{<0.08}	{0.08-1.3} (a) 5.24	{>1.3} (b) 2.28
Manganeso (ppm)	{<3}	{3-20} (a) 5.38	{>20} (b) 3.7
Relación Carbono/Nitrógeno	{<10.5}	{10.5-11} (a) 6.84	{>11} (b) 3.45
Arcilla (%)	{<13.5}	{13.5-14} (a) 5.05	{>14} (b) 4.04

El incremento del pH se puede atribuir a ciertos factores. Si el Al y el H absorbidos por el complejo de cambios son reemplazados por elementos alcalinos y alcalinotérreos, como K, Na, Ca y Mg, la concentración de H en la solución disminuye, aumentando correspondientemente la concentración de OH y con ello el pH. Cuanto mayor sea la participación de los elementos alcalinos y alcalinotérreos en la cubierta del complejo de cambio, mayor es el pH del suelo (Fassbender, 1969). El aumento en el pH se atribuye a una mayor participación del calcio; este se comportó, con la diversificación de cultivos, entre 2010-2011 de 4.51-27.82 meq/100 g suelo en guayaba, 4.06-28.76 meq/100 g para nopal, 12-25.03 meq/100 g de suelo en piña y 19.26-31.68 meq/100 g en el cultivo de la papaya.

Analizando los resultados para el elemento calcio se encontró que los mejores rendimientos con la diversificación de cultivos, se observaron en una escala de 4-6 meq/100 g suelo para guayaba, 15-30 meq/100 g suelo con nopal, 23.4-25 meq/100 g suelo en piña y 22-27 meq/100 g suelo para papaya (Cuadros 10, 11, 14 y 15). La presencia de este elemento en grandes proporciones durante el ensayo influyó sobre el pH aumentando de 7.71 en 2009 a rangos superiores para los cuatro cultivos entre 2010-2011. Para el cultivo de nopal; se observa que el cambio en el pH del suelo no fue significativo, este comportamiento se atribuye a la demanda nutricional del nopal; el uso del elemento Ca dentro de los procesos de crecimiento de esta especie no permite una variación significativa en el pH. El suelo clasificado dentro de la serie La Calera es perfecto para esta especie. El calcio juega un papel importante para regular la estructura y cualidades físico químicas del suelo (Gros, 1981). Según Ríos & Quintana (2004) el mejor suelo para nopal es aquel de origen calcáreo, franco arenoso con pH de preferencia alcalino. En estado productivo 50 g de superfosfato de calcio simple a cada cepa, para restituir demanda de calcio (Anexo 3).

Gros (1981), menciona que la cal muelle las tierras compactas. Con la diversificación de cultivos y aplicaciones de vermicompost se observó una reducción de las proporciones de arcilla de 23%, en 2009, a 11.6-15.8% para guayaba, a 13.6-15.8% en nopal, a 15.6-19.8% con piña y papaya e incremento paralelo de la proporción de arena para los cuatro cultivos se atribuye a las variaciones del calcio del área experimental. El mejor rendimiento fue observado entre 15.6-16 % de arcilla para guayaba, 13.5-14% en nopal, 15.6-17.6% para piña y en papaya con este parámetro no se encontró diferencias estadísticas significativas.

El porcentaje de calcio adicionado con la aplicación de vermicompost (Cuadro 1) no es significativo, comparado con las cantidades ya presentes en el suelo, serie la Calera, donde se estableció el ensayo; su influencia radica en el balance de los elementos existentes en el suelo. Al aplicar a₃ se obtuvo el rango óptimo de Ca en los cuatro cultivos. Este rango se alcanzó con el nivel a₂ de vermicompost en nopal, piña y papaya. El nivel a₁ logró el rango óptimo de Ca únicamente en nopal. En suelos como el de la serie la Calera; sin importar las aplicaciones de riego u otras sustancias, el carbonato de cal siempre estará presente. CO₃Ca es insoluble en agua, excepto cuando está cargado de gas carbónico, esto solo ocurre al calentarlo al rojo vivo en hornos (Gros, 1981).

Cuadro 12. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost en el cultivo de piña, UNA, 2009-2011

Año	T	pH	MO	N	P-disp	CE	K-disp	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Prof.	Partículas (%)			Clase Textural	C/N
		(H ₂ O)	(%)	(%)	(ppm)	(µS/cm)	(meq/100 g suelo)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(cm)	Arc.	L.	Are.		
2009	-	7.71	3.38	0.17	19.30	154.50	4.61	22.34	5.46	5.60	1.12	37.60	3.12	20.00	23.00	20.00	57.00	F.A.A.	11.5327
2010	a ₁	7.90	2.54	0.13	5.90	105.30	1.96	12.00	3.55	16.16	2.24	1.20	38.40	20.00	15.80	22.60	61.60	F.A.	11.3332
	a ₂	8.40	2.49	0.12	4.70	135.90	2.48	14.99	3.88	5.44	0.56	0.64	33.36	20.00	17.80	24.60	57.60	F.A.	12.0360
	a ₃	8.15	2.59	0.13	8.50	122.50	2.65	14.87	4.31	10.48	1.76	1.28	38.56	20.00	19.80	20.60	59.60	F.A.	11.5563
2011	a ₁	7.45	3.85	0.19	7.80	142.90	4.69	22.20	5.92	24.08	2.64	5.68	58.56	20.00	15.60	24.20	60.20	F.A.	11.7536
	a ₂	7.52	3.00	0.15	6.00	159.40	3.52	25.03	6.51	15.04	1.68	3.76	49.76	20.00	17.60	24.20	58.20	F.A.	11.6009
	a ₃	7.58	3.04	0.15	7.50	145.80	4.27	23.35	6.48	22.08	2.72	5.28	54.96	20.00	15.60	24.20	60.20	F.A.	11.7556

Cuadro 13. Resultados de análisis físico-químico de suelos para tres tratamientos de vermicompost, en el cultivo de papaya, UNA, 2009-2011

Año	T	pH	MO	N	P-disp	CE	K-disp	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Prof.	Partículas (%)			Clase Textural	C/N
		(H ₂ O)	(%)	(%)	(ppm)	(µS/cm)	(meq/100 g suelo)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(cm)	Arc.	L.	Are.		
2009	-	7.71	3.38	0.17	19.30	154.50	4.61	22.34	5.46	5.60	1.12	37.60	3.12	20.00	23.00	20.00	57.00	F.A.A.	11.5327
2010	a ₁	8.43	2.08	0.10	13.80	171.20	2.63	19.26	4.84	2.16	0.24	0.96	29.68	20.00	17.80	22.60	59.60	F.A.	12.0650
	a ₂	8.35	2.82	0.14	22.20	12.48	4.33	20.16	4.90	6.48	0.40	4.24	42.96	20.00	19.80	22.60	57.60	F.A.	11.6838
	a ₃	8.10	3.05	0.15	10.60	173.80	2.59	22.63	5.82	2.40	0.08	1.04	30.48	20.00	17.80	24.60	57.60	F.A.	11.7943
2011	a ₁	7.60	2.50	0.13	14.00	184.30	4.48	31.68	7.67	2.16	0.64	3.20	38.32	20.00	15.60	24.20	60.20	F.A.	11.1547
	a ₂	7.45	3.10	0.16	25.70	190.70	6.77	26.53	6.35	8.86	0.96	8.72	51.60	20.00	15.60	26.20	58.20	F.A.	11.2384
	a ₃	7.95	3.20	0.16	6.30	181.70	3.57	30.26	7.27	4.96	1.04	4.24	45.36	20.00	15.60	24.20	60.20	F.A.	11.6009

T: Tratamiento; F.A.A.: Franco Arcillo-Arenoso; F.A.: Franco Arenoso.

Cuadro 14. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas; propuestos para el cultivo de la piña, si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011

Descripción	Bajo	Óptimo	Alto
	{Escala}, (categoría), número de hojas (NH), peso del fruto en gramos (PF)		
Nitrógeno (%)	{<0.12} (b) NH=17.98	{0.12-0.15} (a) PF=1400.75-1500.2	{>0.15} (b) PF=1105.95
pH	{<7.52} (b) PF= 1105.95	{7.52-7.9} (a) PF=1400.75-1500.2	{>7.9} (ab) y (b) NH= 17.98-18.23
Materia orgánica (%)	{<2.59} (b) NH=17.98	{2.59-3} (a) PF=1400.75-1500.2	{>3} (b) PF=1105.95
Fósforo (ppm)	{<5.9} (b) NH=17.98	{5.9-7.5} (a) PF=1400.75-1500.2	{>7.5} (b) PF=1105.95
Potasio (meq/100 g suelo)	{<2.65} (a) (b) NH= 17.98-18.87	{2.65-4.27} (a) PF=1400.75-1500.2	{>4.27} (b) PF=1105.95
Calcio (meq/100 g suelo)	{<23.4} (b) PF= 1105.95 NH=17.98	{23.4-25} (a) PF=1400.75-1500.2	{>25}
Magnesio (meq/100 g suelo)	{<6.48} (b) PF= 1105.95 NH=17.98	{6.48-6.51} (a) PF=1400.75-1500.2	{>6.51}
Hierro (ppm)	{<15.04} (b) NH=17.98	{15.04-22.08} (a) PF=1400.75-1500.2	{>22.08} (b) PF= 1105.95
Cobre (ppm)	{<1.68} (b) NH=17.98	{1.68-2.72} (a) PF=1400.75-1500.2	{>2.24} (b)
Zinc (ppm)	{<1.2} (a)(ab)(b) NH=17.98-18.87	{3.76-5.28} (a) PF=1400.75-1500.2	{>5.28} (b) PF= 1105.95
Manganeso (ppm)	{<38.4} (a) (b) NH= 17.98-18.87	{38.4-54.96} (a) PF=1400.75-1500.2	{>54.96} (b) PF= 1105.95
Relación Carbono/Nitrógeno	{<11.33} (a)(ab) NH=18.23-18.27	{11.6-11.75} (a) PF=1400.75-1500.2	{>11.75} (b) NH= 17.98
Arcilla (%)	{<15.6}	{15.6-17.6} (a) PF=1400.75-1500.2	{>17.6} (a)(ab) NH= 18.23-18.27

El nopal tiene un excelente aprovechamiento de calcio; según resultados obtenidos existe una reducción de Ca en el suelo cultivados con nopal y con tratamientos de 10-20 t (ha año)⁻¹ de vermicompost (Cuadro 9 y Anexo 4). La especie nopal tiene una alta demanda de calcio esto ocasionó una reducción homogénea de arcilla entre tratamientos. Obteniéndose un rango entre 13.8-15.6 % de arcilla. La especie *Opuntia ficcus-indica* L. es considerada una cactácea que por sus características morfológicas y desarrollo en condiciones de estrés hídrico y nutricional no requiere aportes significativos para su sobrevivencia. Según Flores *et al.*, (2010), en las zonas áridas y semiáridas las opciones para producir, son limitadas por la baja disponibilidad de humedad para los cultivos y la baja fertilidad del suelo; en estas condiciones, el nopal cobra valor por su capacidad de establecerse.

La alta disponibilidad de calcio en piña y papaya no incrementaron la alcalinidad del pH porque hubo un aumento en N (Cuadros 12 y 13).

Según los resultados obtenidos en conductividad eléctrica esta osciló entre 0.93-1.66 dS/m en guayaba, 0.466-1.804 dS/m en nopal, 1.053-1.594 dS/m en piña y 0.1248-1.907 dS/m en papaya; estos rangos obtenidos clasifican al suelo estudiado para los cuatro cultivos con un comportamiento no salino. Flores *et al.* (1996), afirma que aquellos suelos con una conductividad eléctrica superior a 4 dS/m (1 μ S/cm=0.01 dS/m) son considerados salinos.

Salinas & García (1985), clasifican los suelos tomando en cuenta el pH, conductividad eléctrica para inferir sobre la presencia de carbonato cálcico (Anexo 5). El pH encontrado es superior a 7 y su respectiva conductividad eléctrica inferior a 4 dS/m, se afirma la presencia del carbonato cálcico característico de un suelo calcáreo, no salino.

Con la diversificación de cultivos y uso de vermicompost hubo una reducción en la disponibilidad de fósforo (P); de 19.3 ppm en 2009 a un rango de 1-4.6 ppm para guayaba, 2-4.2 ppm en nopal, 4.7-8.5 ppm en piña y 6.3-25.7 ppm en papaya; entre el período 2010-2011. Los rangos óptimos fueron entre 3.6-4.8 ppm con guayaba, 3.5-4.2 ppm en nopal, 5.9-7.5 ppm en piña y 10-12 ppm en papaya (Cuadros 10, 11, 14 y 15).

Existe fijación del P mediante un puente con el calcio. En la mayoría de los suelos, el Ca⁺⁺ constituye la mayor parte de los cationes fijados, con un poco de Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺ y NH₄⁺. Ningún anión se fija, excepto el anión PO₄⁻³ (fosfato), que aprovecha un puente formado por los cationes Ca⁺⁺ (calcio) ver figura 1 (Gros, 1981).

Cuadro 15. Rangos óptimos agroecológicos en propiedades físico-químicas; propuestos para el cultivo de la papaya, si se utiliza vermicompost como aporte nutricional, UNA, 2009-2011

Descripción	Bajo	Óptimo	Alto
	{Escala}, (categoría), rendimiento (frutos/planta/corte)		
Nitrógeno (%)	{<0.14} (b) 1.51	{0.14-0.16} (a) 2.20	{>0.16}
pH	{<7.4}	{7.4-8.2} (a) 2.19	{>8.2} (b) 1.52
Materia orgánica (%)	{<2.8} (b) 1.51	{2.8-3.15} (a) 2.35	{>3.15} (ab) 1.75
Fósforo (ppm)	{<10} (b) 1.75	{10-12} (a) 2.69	{>12} (b) 1.84
Potasio (meq/100 g suelo)	{<6}(b) 1.85	{6-7} (a) 2.55	{>7}
Calcio (meq/100 g suelo)	{<22} (b) 1.52	{22-27} (a) 2.62	{>27} (b) 1.77
Magnesio (meq/100 g suelo)	{<5.8} (b) 1.52	{5.8-6.4} (a) 2.62	{>6.4} (b) 1.77
Hierro (ppm)	{<8} (b) 1.78	{8-9} (a) 2.55	{>9}
Cobre (ppm)	{<0.05}	{0.05-0.1} (a) 2.69	{>0.1} (b) 1.82
Zinc (ppm)	{<7.5} (b) 1.85	{7.5-9.9} (a) 2.55	{>9.9}
Manganeso (ppm)	{<48} (b) 1.85	{48-56} (a) 2.55	{>56}
Relación Carbono/Nitrógeno	{<10.5}	{11-11.9} (a) 2.12	{>11.9} (b) 1.23
Arcilla (%)	{<15}	{15-20} (NS)	{>20}

(NS): No existen diferencias estadísticas significativas.

En la diversificación de cultivos y aplicaciones de a_3 obtuvo el rango óptimo de P en los cuatro cultivos, con el nivel a_2 se obtuvo en guayaba, piña y papaya. El tratamiento a_1 alcanzó el rango óptimo de P para guayaba, nopal y piña. En guayaba y nopal se encontró baja disponibilidad de fósforo, el límite inferior del rango en nopal fue 1 ppm; este nivel es superior comparado al suelo donde se cultivó guayaba. Una menor demanda de fósforo en el cultivo de nopal permite mantener niveles altos de fósforo en el suelo, en comparación con los encontrados en el cultivo de guayaba. Si comparamos los anexos 4 y 6 referido a sus demandas respectivas, se comprueba que la guayaba demanda en sus primeros años fósforo para su crecimiento vegetativo y el nopal para el crecimiento de cladodios no lo requiere.

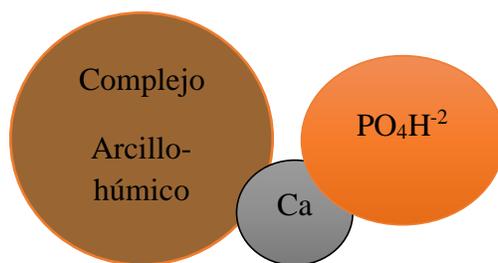


Figura 1. Fijación del ión PO_4^{-3} mediante un puente de calcio (Gros, 1981).

Según OIRSA (2003), el fósforo es un nutriente básico en el desarrollo de raíces de la planta de piña, síntesis energéticas, procesos de intercambio de iones, síntesis de enzimas y otros, una mayor demanda se da en los primeros estadios de desarrollo. Aplicaciones de vermicompost entre 10-20 t (ha año)⁻¹ permiten alcanzar niveles óptimos de P en el cultivo de piña (Cuadro 14).

CENTA (2010), afirma que la papaya tiene una baja demanda de fósforo (Anexo 7). Los análisis de suelo durante el estudio demostraron una alta disponibilidad de P. al realizar aplicaciones de a₃ para el 2011 se encontró que la disponibilidad de P es baja debido a un pH medianamente alcalino (Anexo 8).

La disponibilidad de zinc, con la diversificación de cultivos, en guayaba mostró un rango de 0.16-3.28 ppm, desde no disponible (nd) a 2.08 en nopal, entre 0.64-5.68 ppm con piña y de 0.96-8.72 en papaya; el zinc (Zn) reduce su disponibilidad de 37.60 ppm en 2009, en relación a 2010 y 2011, en los niveles de vermicompost para los cuatro cultivos (Cuadros 8, 9, 12 y 13). Los mejores rendimientos se obtuvieron con rangos entre 0.15-0.8 ppm para guayaba, 0.08-1.3 ppm en nopal, 3.76-5.28 ppm en piña y 7.5-9.9 ppm en papaya (Cuadros 10, 11, 14 y 15). Según Goedert *et al.* (1997); la disponibilidad de este elemento se ve reducida por el aumento del pH a partir de 7.5 (Anexo 8). Como se puede apreciar en los cuadros 8, 9, 12 y 13 entre 2010 y 2011 el rango del pH fue de 7.45-8.5, rango donde el zinc tiene baja disponibilidad.

La materia orgánica, en cultivos diversificados, mostró un rango de 0.6-2.28 % con el cultivo de guayaba, 1.30-2.59 % con el nopal, 2.49-3.85% en el cultivo de piña y 2.08-3.2 % con papaya. Un mejor rendimiento se obtuvo teniendo un rango de 1.9-2.2 % en guayaba, 1.1-1.5 % con nopal, 2.59-3% en piña y 2.8-3.15% con papaya (Cuadros 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). El comportamiento de la materia orgánica, al aplicar el tratamiento a₁ alcanzó el óptimo para guayaba y nopal, con el tratamiento a₂ se obtuvo para piña y papaya; con aplicaciones a₃ en guayaba, piña y papaya. Los tratamientos a₂ y a₃ mantuvieron los niveles más altos de materia orgánica en guayaba, nopal y papaya. En piña ocurrió lo contrario; el tratamiento a₁ fue el que experimentó una mayor cantidad de materia orgánica, esto explica una baja actividad microbiana en dicho tratamiento (Cuadro 17, 18 y 19). Schuldt (2006) afirma que el vermicompost o humus de lombriz (*Eisenia foetida*), más que un abono, es un biocorrector, y el que su poder fertilizante, ateniéndose exclusivamente a su carga ponderal de nutrientes, supere lo esperado, se asocia en buena medida a la carga bacteriana útil que aporta (varios billones de bacterias/g) respecto a unos pocos millones de bacterias/ g de la mayoría de los guanos), la cual libera compuestos presentes en el suelo, que no se hallaban directamente disponibles para la planta por el estado químico en que se encontraban, tal es el caso del fósforo en muchos suelos.

Una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 10-20 permite que los microorganismos encargados de descomponer materia orgánica en elementos utilizables por las plantas aumenten su actividad; lo que a su vez repercute en una reducción de MO y N simultáneamente. La relación C/N para todos los tratamientos en los cuatro cultivos, permitió el balance necesario para la mineralización e inmovilización de nutrientes en presencia de microorganismos durante los procesos de descomposición de materia orgánica. Los valores de C/N encontrados durante el estudio oscilaron entre 10.77-12.32. Estos resultados se encuentran dentro del rango propuesto por Fassbender (1993) quien afirma que aquellos suelos con una relación carbono/nitrógeno entre 10-20 son considerados como suelos normales.

El comportamiento del nitrógeno con la diversificación de cultivos es similar a la materia orgánica; los mejores rendimientos se observaron entre 0.09-0.11% para guayaba, 0.08-0.10% en nopal, 0.12-0.15% en piña y 0.14-0.16 % con papaya (Cuadros 10, 11, 14 y 15). Al aplicar los tratamientos a_3 y a_2 se obtuvo el rango óptimo de N en los cuatro cultivos. Este rango se alcanzó con el nivel a_1 de vermicompost en guayaba y piña. Con aplicaciones superiores de vermicompost, se puede evitar baja disponibilidad de nitrógeno y encontrar un balance. Una aplicación menor como la de a_1 permite mantener el nivel óptimo de nitrógeno necesario para un rendimiento aceptable; excepto con el cultivo de papaya. El nitrógeno presente en el suelo antes de realizar las aplicaciones fué de 0.17 %; considerado alto (2009). La disponibilidad de N en guayaba mostró un rango de 0.03-0.11 %, 0.07-0.13 % en nopal, 0.12-0.19 % en piña y de 0.10-0.16% en papaya. Durante los dos años de investigación los niveles más altos se encontraron donde se aplicó dosis altas de vermicompost (tratamientos a_2 y a_3). Fassbender (1993) afirma que el balance e interacción que experimentan el nitrógeno y la materia orgánica en presencia de microorganismos descomponedores mineralizan e inmovilizan N.

El potasio (K) disponible en el año 2009 fue de 4.61 meq/100 g suelo (Alto). La disponibilidad de K, con la diversificación de cultivos, mostró un rango de 2.15-4.10 meq/100 g en guayaba, 1.95-3.46 meq/100 g en nopal, 1.96-4.69 meq/100 g en piña y de 2.59-6.77 meq/100 g en papaya; los mejores rendimientos se observaron entre 3.2-3.4 meq/100 g para guayaba, 1.9-2.9 meq/100 g en nopal, 2.65-4.27 meq/100 g en piña y 6-7 meq/100 g con papaya (Cuadros 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). Al aplicar a_3 se obtuvo el rango óptimo de K en guayaba, nopal y piña. Este rango se alcanzó con el nivel a_2 de vermicompost en nopal, piña y papaya. El nivel a_1 logró el rango óptimo de K en nopal. Los niveles mayores de K se encontraron en aplicaciones con a_3 , es recomendable no aplicar esta dosis, en suelos donde los niveles de potasio son óptimos. La respuesta de los cultivos al K, depende en gran medida de la nutrición nitrogenada. Para obtener la máxima eficiencia, estos nutrientes deben ser aplicados en las mismas proporciones en que existen en el vegetal, donde la relación N/K es aproximadamente 2:1. El continuo incremento del uso de fertilizantes nitrogenados implica la aplicación de K con la misma tasa de aumento (Munson, 1985).

Niveles óptimos de K y mayor disponibilidad de N fueron obtenidos en los tratamientos a_2 y a_3 . Para la papaya el potasio es el nutrimento de mayor importancia cuantitativa y cualitativa en la producción, interviene activamente en el proceso de división celular, regulando las disponibilidades de azúcares (CENTA, 2010). Existe antagonismo entre Mg-K: suelos con exceso de Mg presentan deficiencia en K. Se califican como deficientes en Mg suelos con una relación K/Mg superior a 1,6. (Munson, 1985). La relación K/Mg para a_2 en 2011 es de 1.066, esta relación permitió obtener buenos rendimientos, en cambio una relación 0.49 fue obtenida por a_3 en 2011, haciendo que el nivel de K sea deficiente para el cultivo, este resultado fue ocasionado por un nivel alto de Mg.

Magnesio (Mg), en 2009 presentó 5.46 meq/100 g suelo. Con la diversificación de cultivos este elemento mostró rangos diferentes; en guayaba de 3.42-7.90 meq/100 g, 5.07-7.90 meq/100 g en nopal, 3.55-6.51 meq/100 g con piña y de 4.84-7.67 meq/100 g en papaya; los mejores rendimientos se observaron entre 6.2-7.2 meq/100 g para guayaba, 5.5-6.5 meq/100 g en nopal, 6.48-6.51 meq/100 g en piña y 5.8-6.4 meq/100 g con papaya (Cuadros 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). Aplicaciones del nivel a₃ obtuvieron el rango óptimo de Mg en guayaba, piña y papaya. Este rango se alcanzó con el nivel a₂ en nopal, piña y papaya. El nivel a₁ no logró el rango óptimo de Mg en ninguno de los cuatro cultivos. El comportamiento del potasio y el magnesio fueron similares. Los niveles más altos de Mg están dentro del suelo tratado con dosis a₃ y a₂, bajo estas condiciones se obtuvieron rangos de Mg no aprovechados por el cultivo, debido que los altos rendimientos se encontraron con niveles inferiores de magnesio. Según Brady & Weil (2002) la relación de Ca/Mg de 6/1 es buena, cuando el calcio se reduce, el magnesio por ser una base, tiende a subir. En el cultivo de nopal, con el tratamiento a₂; el calcio presenta menor proporción que en los tratamientos a₁ y a₃. Esto incidió permitiendo un incremento en el magnesio para este tratamiento (Cuadro 9).

Según Goedert *et al.* (1997), el comportamiento de K, Ca y Mg está estrechamente relacionado y su incremento o reducción bajo ciertas circunstancias, es similar (Anexo 8). Si observamos los datos de los tres nutrientes mencionados para el 2011, en el cuadro 13, el K y Ca incrementaron notoriamente, este comportamiento influyó sobre Mg, haciendo que también aumentara. El establecimiento del cultivo de la papaya en suelo de tipo calcáreo utilizando vermicompost con dosis a₁, a₂ y a₃, contribuye al incremento en la disponibilidad de Mg, propiciando antagonismo con K. La demanda de Mg para el cultivo de papaya es menor en comparación con la de K, se considera que aplicaciones de vermicompost requerirían fertilización complementaria de K para obtener mejores rendimientos en el cultivo de papaya (Anexo 7).

El elemento Cobre (Cu) para el año 2009 antes de diversificar cultivos y hacer aplicaciones de vermicompost, el suelo presentó 1.12 ppm. En el cultivo de guayaba el rango osciló entre 0.08-5.28 ppm, nd-6.24 ppm en nopal, 0.56-2.72 ppm en piña y de 0.08-1.04 ppm en papaya; los mejores rendimientos se observaron entre 0.1-0.9 ppm para guayaba, 4.5-6.5 ppm en nopal, 1.68-2.72 ppm en piña y 0.05-0.1 ppm en papaya (Cuadros 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). Al aplicar a₃ se obtuvo el rango óptimo de Cu en nopal, piña y papaya. Este rango se alcanzó con el nivel a₂ de vermicompost únicamente en piña. El nivel a₁ alcanzó el rango óptimo de Cu para guayaba y piña. El nivel bajo de Cu encontrado se debió a un nivel de pH alcalino. Según Goedert *et al.* (1997), el cobre al igual que otros elementos reduce su disponibilidad al aumentar el pH (Anexo 8).

El comportamiento del hierro (Fe), para el 2009, antes de establecer la diversificación de cultivos y hacer aplicaciones de vermicompost, el suelo presentó 5.60 ppm. Este elemento en guayaba se encontró en un rango de nd-43.20 ppm, de nd-48.32 ppm en nopal, de 5.44-24.08 ppm en piña y de 2.16-8.86 ppm en papaya; los mejores rendimientos se observaron entre 0.18-6 ppm para guayaba, 0.4-24 ppm en nopal, 15.04-22.08 ppm en piña y 8-9 ppm con papaya (Cuadros 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). Al aplicar a₃ se obtuvo el rango óptimo de Fe en guayaba y piña. Este rango se alcanzó con el nivel a₂ de vermicompost en nopal, piña y papaya. El nivel a₁ logró el rango óptimo de Fe para guayaba, nopal y piña. La aplicación de niveles altos de vermicompost (a₂ y a₃), en suelos alcalinos, en presencia del cultivo de piña, proporciona las condiciones necesarias para encontrar niveles óptimos de hierro, luego de dos años de aplicaciones. La alta disponibilidad de hierro y cobre en el suelo no significa una contribución directa a un rendimiento óptimo, esto se comprobó en el cultivo de nopal para el tratamiento a₂. En este cultivo a₁ se mantiene con niveles adecuados, a₃ presenta disponibilidad alta y a₂ presenta baja disponibilidad durante 2 años de aplicaciones continuas. En aplicaciones con a₂ se observó que en 2010 y 2011 los niveles elevados de pH redujeron la disponibilidad de hierro (Cuadro 9). Al utilizar el tratamiento a₃ el pH se comportó ligeramente alcalino; con un rango menor que en a₂, permitiendo una alta disponibilidad de Fe. Los problemas de deficiencia de Fe corresponden con mucha frecuencia a suelos derivados de materiales calcáreos, en parte por un pH elevado (Mortvedt, 1991).

El comportamiento del manganeso (Mn), para el 2009, antes de diversificar cultivos y hacer aplicaciones de vermicompost, el suelo presentó 3.12 ppm. Este elemento en guayaba obtuvo un rango de 17.44-56.48 ppm, 4.72-44.48 ppm en nopal, 33.36-58.56 ppm en piña y de 29.68-51.6 ppm en papaya; los mejores rendimientos se observaron entre 16-22 ppm para guayaba, 3-20 ppm en nopal, 38.4-54.96 ppm en piña y 48-56 ppm en papaya (Cuadros 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). Al aplicar a₃ se obtuvo el rango óptimo de Mn en los cultivos guayaba y piña. Este rango se alcanzó con el nivel a₂ de vermicompost en nopal, piña y papaya. El nivel a₁ alcanzó el rango óptimo de Mn únicamente en piña. Se afirma que al incrementarse el pH, se disminuye el nivel de disponibilidad de Mn. Cantidades superiores de vermicompost (a₃) proporcionan cantidades elevadas de manganeso, alejándose del óptimo requerido para nopal y papaya; los niveles bajos de hierro en el suelo, en diferentes momentos (2010-2011) permitieron una elevación gradual de manganeso. Una mejor estabilidad del Mn, es coherente con un mejor rendimiento de piña; esta situación se verificó con el tratamiento a₃. Según Mortvedt (1991) el manganeso interactúa negativamente respecto al hierro. Según Goedert *et al.* (1997) el manganeso junto a otros elementos reduce su disponibilidad al aumentar el pH (Anexo 8).

Al realizar análisis físico-químicos en suelos clasificados como calcáreos, no salinos, donde se requiere establecer una diversificación con cultivos de guayaba, nopal, piña y papaya, utilizando como biocorrector a vermicompost, se pueden hacer comparaciones con los rangos óptimos propuestos en esta investigación, por cultivo, para cada propiedad físico-química; así se determina que elemento presenta deficiencia por cultivo. Esta deficiencia se puede remediar con aportes minerales, sintéticos y orgánicos, siempre que los aportes contengan el elemento deseado y no incidan con bloqueos ni antagonismos. De elegir al vermicompost como un aporte al suelo, los resultados encontrados en esta investigación permiten tomar la decisión de que nivel de vermicompost sería el más adecuado aplicar en el sitio donde se desea cultivar. Además, se concluye que:

La diversificación con guayaba, nopal, piña y papaya en un suelo calcáreo redujo la disponibilidad de P, principalmente con aplicaciones de 10 t (ha año)⁻¹ en nopal y papaya.

Con aplicaciones entre 15-20 t (ha año)⁻¹ de vermicompost la diversificación con guayaba, nopal, piña y papaya en un suelo calcáreo incrementó el contenido de Ca.

Aplicaciones de vermicompost entre 10-20 t (ha año)⁻¹ y la diversificación con guayaba, nopal, piña y papaya, en un suelo calcáreo redujo el porcentaje de arcilla por acción del Ca, en cambio la arena y el limo aumentaron su proporción.

El suelo donde se diversificó con cultivos y se aplicó vermicompost es de origen calcáreo y se clasificó como no salino por presentar conductividad eléctrica inferior a 4 dS/m.

A través de la metodología planteada por Quintana, se ha podido obtener las categorías representativas por cultivo y su recomendación es válida para suelos con tendencia a alcalinidad, con características similares a la serie la Calera según Catastro e Inventario de Recursos Naturales (1971).

De estos resultados se puede también afirmar lo siguiente:

En el cultivo de guayaba el tratamiento 10 t (ha año)⁻¹ de vermicompost alcanzó el rango óptimo para las propiedades pH, MO, N, P-disp., Fe, Cu, Zn y Arcilla.; el tratamiento 15 t (ha año)⁻¹ lo obtuvo para N y P-disp., y el tratamiento 20 t (ha año)⁻¹ resultó con óptimo rango en pH, MO, N, P-disp., K-disp., Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y Arcilla.

En el cultivo de nopal el tratamiento 10 t (ha año)⁻¹ de vermicompost alcanzó el rango óptimo para las propiedades pH, MO, N, K-disp., Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Arcilla.; el tratamiento 15 t (ha año)⁻¹ lo obtuvo para pH, N, P-disp., K-disp., Ca, Mg, Zn, Mn y el tratamiento 20 t (ha año)⁻¹ resultó con óptimo rango en N, P-disp., K-disp., Ca, Mg, Cu, y Arcilla.

En el cultivo de piña el tratamiento 10 t (ha año)⁻¹ de vermicompost alcanzó el rango óptimo para las propiedades pH, N, P-disp., K-disp., Fe, Cu, Mn, Arcilla; el tratamiento 15 t (ha año)⁻¹ lo obtuvo para pH, MO, N, P-disp., K-disp., Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Arcilla; y el tratamiento 20 t (ha año)⁻¹ resultó con óptimo rango en MO, N, P-disp., K-disp., Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y Arcilla.

En el cultivo de papaya el tratamiento 10 t (ha año)⁻¹ de vermicompost alcanzó un rango óptimo para la propiedad pH; el tratamiento 15 t (ha año)⁻¹ lo obtuvo para pH, MO, N, K-disp., Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y el tratamiento 20 t (ha año)⁻¹ resultó con óptimo rango en pH, MO, N, P-disp., Ca, Mg y Cu.

Estas últimas afirmaciones se sintetizan en el cuadro 16. Se deduce que al aplicar 20 t (ha año)⁻¹ en guayaba se debe complementar la nutrición de esta planta con Cobre (Cu). Al aplicar 15 t (ha año)⁻¹ en nopal y papaya, además de hacerse una complementación nutricional con Cu hay que adicionar materia orgánica al cultivo de nopal y fósforo al cultivo de papaya; las fuentes pueden ser compost y roca fosfórica respectivamente. Con aplicaciones de 15 t (ha año)⁻¹ en el cultivo de piña se puede garantizar la nutrición necesaria para esta bromeliácea.

En un manejo agroecológico de fincas diversificadas, hay que integrar componentes, para obtener los beneficios de los servicios de biodiversidad.

Cuadro 16. Tratamientos de vermicompost que alcanzaron los rangos óptimos de propiedades físico-químicas con diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) UNA, 2009-2011

Cultivo	T	pH	MO	N	P-disp	K-disp	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	A	Σ
Guayaba	a ₁	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	8
	a ₂			■	■									2
	a ₃	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11
Nopal	a ₁	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	8
	a ₂	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
	a ₃			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	6
Piña	a ₁	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	8
	a ₂	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	12
	a ₃			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11
Papaya	a ₁	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	1
	a ₂	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	9
	a ₃	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	NS	7

■ Rango óptimo agroecológico

T: tratamiento; A: arcilla.

4.1.2 Análisis microbiológico de suelo

Es muy importante conocer el comportamiento de organismos microscópicos en el suelo, función benéfica o perjudicial, en su relación estrecha con el cultivo establecido. El empleo de microorganismos en la agricultura (hongos, bacterias y actinomicetos) constituye una vía importante para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, permite costos de producción menores, la fijación biológica de N logra cubrir hasta el 50% del necesario para las plantas (Martínez, 1986), además, estos microorganismos ayudan a poseer equilibrio biológico, no producen afectaciones al suelo. Conocer a profundidad este tema conduce a sistemas agrícolas más sostenibles desde el punto de vista productivo, ecológico, económico y social (García, 1993). Desde esta perspectiva, el vermicompost contiene una cantidad importante de microorganismos. Durante dos años de estudio, se realizó un muestreo de suelo de forma aleatoria, en cada tratamiento durante los veranos del 2009-2011; con el objetivo de observar posibles fluctuaciones en las poblaciones de microorganismos, encontradas por dosis. El siguiente cuadro muestra los niveles poblacionales de hongos con la diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) en los diferentes niveles de vermicompost.

Hongos en el suelo

Entre los habitantes del suelo de importancia agrícola se encuentran los hongos regulando el contenido de humus y tomando parte del crecimiento de las plantas. Estos cuando se agrupan o reproducen, forman los micelios o hilos que se extienden a través de los espacios porosos, que perforan el suelo. Estos organismos excretan enzimas que descomponen las materias vegetales frescas y las convierten en humus (IICA, 1998).

Cuadro 17. Géneros de hongos en suelo con aplicaciones de vermicompost y diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya), UNA, 2009-2011

Año	T	Guayaba		Nopal		Piña		Papaya	
		G	UFC	G	UFC	G	UFC	G	UFC
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	a ₁	<i>Curvularia sp.</i>	1x10 ⁷	-	-	<i>Pestalotia sp.</i>	1x10 ⁵	<i>Aspergillus sp.</i>	2x10 ⁵
	a ₂	<i>Aspergillus sp.</i>	2x10 ⁵	-	-	<i>Aspergillus sp.</i>	2x10 ⁵	<i>Fusarium sp.</i>	3x10 ⁵
	a ₃	<i>Aspergillus sp.</i>	3x10 ⁵	-	-	<i>Aspergillus sp.</i>	2x10 ⁵	<i>Penicillium sp.</i>	1x10 ⁵
2011	a ₁	-	-	-	-	-	-	-	-
	a ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
	a ₃	-	-	-	-	-	-	-	-

T: tratamiento; G: Género; UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

En 2009 se realizó un análisis inicial de hongos al suelo del área seleccionada para la diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya); en ese momento no se encontró ningún género de hongo presente de manera significativa. Únicamente en el año 2010 se encontró hongos en el suelo del área experimental.

Curvularia sp.

Con diversificación de cultivos, entre los hongos encontrados en el suelo cultivado con la especie *Psidium guajava* (guayaba), se constató al género *Curvularia sp.*, (Cuadro 17). Este género actúa de manera endófito en las yemas preflorales de la guayaba, las que al caer al suelo llevan consigo este microorganismo. No obstante, no representa amenaza alguna para este cultivo. Si este género se hubiese encontrado en papaya, si sería un problema, dado que causa pudriciones en el fruto. El cultivo de papaya se encontraba ubicado hacia el este de la plantación de guayaba, separadas por plantas de nopal y piña, esta posición, el factor viento y un buen manejo de ambas plantaciones evitó la propagación de este género hacia el cultivo de papaya. Según un estudio realizado en Venezuela, donde se pretendía analizar la micoflora asociada a la guayaba (Pérez *et al.* 2000), encontraron esporas de varios géneros como: *Dothiorella*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Curvularia*, *Fusarium* y *Pestalotia*. Este trabajo no especificó cuáles de estos hongos son capaces de atacar el fruto, *Curvularia sp* se reporta sin atribuírsele daños específicos.

Según Durán & Mora (1982) *Curvularia sp.*, es causante de la enfermedad pudrición seca de la papaya, en poscosecha. Los hongos endófitos (HE) son microorganismos que viven de manera no agresiva o asintomática dentro de los tejidos de ramas, tallos, frutos y flores. También, Urdaneta *et al.* (2009), mencionan que la frecuencia de aparición de los HE varía de acuerdo al estadio prefloral. Entre los hongos aislados *Colletotrichum gloeosporioides* P. (21,88%), *Penicillium sp.* y *Curvularia lunata* W. (16,88%) fueron los más frecuentes. Por tanto las yemas preflorales del guayabo son hospederas de un gran número de hongos endófitos. La caída de estas yemas preflorales fue más común donde el volumen de vermicompost aplicado era menor, es decir, con 10 toneladas por hectárea por año se observó más abortos florales, al caer al suelo dichas yemas permiten la sobrevivencia de *Curvularia sp* sobre residuos de las mismas y al muestrear suelo donde ocurrió este proceso, se obtienen colonias de este género en el laboratorio.

Aspergillus sp.

Con diversificación de cultivos se determinó la presencia de *Aspergillus sp.* en suelo cultivado con guayaba, piña y papaya; desempeñando un rol saprófito (Cuadro 17). Este género de hongos se convierte en un problema cuando no se encuentra en el suelo, sino en los órganos reproductores de estos cultivos. Los resultados reportados por Urdaneta *et al.* (2009) indican que algunos hongos pueden no ser capaces de infectar la yema prefloral por si solos y necesitan las heridas causadas por ácaros, para lograr su entrada al vegetal; tal es el caso de *Aspergillus sp.*, *Chaetomium globosum* K., *Phomopsis citri* F., y *Trichoderma sp.*

Fassbender (1969) plantea que las transformaciones más importantes en los procesos de la mineralización y la humificación son de naturaleza bioquímica en presencia de microorganismos (Anexo 9). En general los hongos se ven beneficiados por un incremento en la humedad relativa del ambiente. Según Torres (2006); los hongos se reproducen por medio de esporas sexuales y asexuales (*Aspergillus sp* posee esporas asexuales), las cuales se dispersan por agua dulce o salada, viento o insectos. La germinación de las esporas depende de la temperatura y la humedad. Muchos hongos aumentan su propagación durante períodos de mayor humedad. Una reducción de la materia orgánica se constató entre 2009-2010 en el suelo cultivado con guayaba, atribuible a organismos como *Aspergillus sp.*, (Cuadro 10 y 17). Aplicaciones de vermicompost con tratamiento a₂ presentan niveles UFC (Unidades Formadoras de Colonias) menores que con tratamiento a₃ y se verifica la ausencia de este género al aplicar a₁. Cantidades superiores de vermicompost, es decir, con los tratamientos a₂ y a₃ se propician condiciones para la prosperidad de *Aspergillus sp.*, género importante en el proceso de mineralización durante el primer año. Mejores condiciones de humedad en el suelo propiciaron una mayor cantidad de UFC para *Aspergillus sp.*, lo que se constata con los resultados del 2010 (Anexo 10).

En el cultivo de piña, *Aspergillus sp.*, se presentó en a₂ y a₃ (Cuadro 17). Castro (2006) menciona que dentro de los principales patógenos en esta bromeliacea se encuentran hongos y bacterias de los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botryodiplodia*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Erwinia*, etc. Este género ataca si las prácticas de manejo poscosecha no son las adecuadas, al respecto podemos afirmar que durante el manejo de la fruta, al momento de cosecha, se tenían todos los cuidados necesarios para evitar la contaminación con algún patógeno en el suelo. Al observar a *Aspergillus sp.*, dentro de la lista de hongos importantes para los procesos de mineralización, se clasifica con función benéfica (Anexo 9). La presencia de éste no se considera, bajo esta circunstancia, como agente patógeno de la piña sino como microorganismo benéfico en el proceso de reciclaje de nutrientes en el suelo.

Snowdon (2010), reporta a *Aspergillus sp.* y *Fusarium sp.*, como causante de pudriciones en frutos de papaya, además agrega que la pudrición por moho azul, es causada por *Penicillium sp.* Menciona también que esta última enfermedad no es muy común, pero puede ocurrir después de un daño fisiológico o daño por frío. Los dos primeros géneros de hongos se encontraron en suelos tratados con a₁ y a₂, respectivamente y representan riesgo dentro de una plantación de papaya. *Aspergillus sp.* y *Fusarium sp.*, se reportan como causantes de pudriciones en el fruto, en cambio al observar la lista de organismos benéficos, en el anexo 9, se clasifican como microflora benéfica necesaria para la mineralización (Fassbender, 1969). Para que *Aspergillus sp.* pase de benéfico, en el suelo, a tener un rol secundario y saprófito en el fruto, debe ocurrir una práctica intermedia que permita el contacto entre fruta y hongo. Si durante la cosecha, las frutas son colocadas en el suelo y se encuentre presente *Aspergillus sp* o *Fusarium sp.*, éstas posteriormente sufrirán lesión por pudriciones. *Penicillium sp.*, no es muy común en el ataque a frutos pero de encontrarse en el suelo, no permitir que los frutos de papaya toquen el suelo, evitar cualquier golpe en la fruta, transporte y comercialización y no almacenar frutas a temperaturas de congelación que ocasionen lesiones.

Pestalotia sp.

En 2010, con la diversificación de cultivos, *Pestalotia sp.*, al aplicar a₁ alcanzó 1×10^5 UFC en el cultivo de piña (Cuadro 17). Este hongo es conocido como costra o clavo de la guayaba; se caracterizan porque se presentan costras con apariencia de clavos en la epidermis de la fruta. La incidencia y severidad de la enfermedad está asociada con la variación de las condiciones climáticas y con la susceptibilidad de la variedad de guayaba. (ICA, 2006). Mayorga *et al.* (1969), reportaron al género *Pestalotia* como agente patógeno de la guayaba, además mencionaron cinco especies del género *Pestalotia* que atacan a este cultivo. Éste es un patógeno secundario, saprofito en tejidos muertos y es un parásito débil que infecta plantas que por daños mecánicos tienen heridas bajo condiciones húmedas (Verde, 2012).

La mortalidad en piña fue significativa a causa de bacteriosis, cuyo agente causal fue *Erwinia sp.*, (Cuadro 18). Las secciones muertas de las hojas de la planta de piña junto a condiciones de humedad adecuadas permitieron la propagación del hongo *Pestalotia sp.*, dañino para las frutas de guayaba. Su movilidad le permitió alcanzar el cultivo de guayaba, provocando los síntomas de la enfermedad “clavo de la guayaba”. Para el manejo de esta enfermedad, en guayaba, se realizó la práctica del embolsado de frutos en los estadios iniciales de crecimiento del fruto.

Hongos en el suelo cultivado con Nopal (Opuntia ficus-indica L.)

En el cultivo de nopal se determinó la ausencia de géneros de hongos en 2009. Esta realidad no cambia en el período 2010-2011, con la diversificación de cultivos y posteriores aplicaciones de vermicompost (Cuadro 17). La arquitectura vegetal de la planta de nopal, como cultivo, compuesta morfológicamente por tallo de poca altitud en sus primeros 2 años de vida, manejado con podas de formación y presencia de cladodios dispuestos de forma vertical, permiten el paso de rayos solares durante varias horas del día, ocasionando evaporación de agua mayor que en especies poseedoras de ramas y hojas con follaje denso como guayaba y papaya. La distancia de siembra en nopal entre calle de 1 m y de 0.5 entre planta deja un amplio para que la radiación solar llegue al suelo. Cultivos sembrados a una distancia menor y poseedores de hojas alternas, en espiral, dispuestas de forma horizontal son capaces de cerrar el espacio entre surcos y tienen mayor posibilidad de conservar humedad en el suelo (ejemplo: piña). Una menor capacidad para la conservación de humedad de suelo, por parte del género *Opuntia* repercute sobre la baja prosperidad de las poblaciones de hongos, hasta niveles que son insignificantes como para reportarse. Según García (2005) los hongos presentan alta capacidad de tolerancia a medios secos. Debido a que el nopal es un cultivo tolerante a la sequía, pero en caso de que se necesite, por sequía prolongada, se debe aplicar una lámina de riego de 10 cm (Ríos & Quintana, 2004).

Según FAO (2006), la especie *Opuntia ficus-indica* L. fisiológicamente es una cactácea con fotosíntesis tipo CAM (Crassulacean Acidic Metabolism plants), considerando su metabolismo y los resultados de esta investigación se confirma que, por presentar resistencia a sequía, no requiere poseer una arquitectura vegetal que permita la conservación de humedad en el suelo a su alrededor, propiciando la reducción de las poblaciones de hongos en ese espacio. Sus mecanismos eficientes en el uso de agua y adaptación a sequía, le permiten no evolucionar hacia arquitecturas fenotípicas conservadoras de humedad en el suelo, comunes entre especies perennes como guayaba y papaya.

En 2009 los muestreos y análisis de suelo llevados a cabo, en verano, en el área experimental, de los cuatro cultivos, se constató la ausencia de géneros del reino fungi. Los hongos requieren de la humedad en el suelo, por el efecto directo sobre su crecimiento y actividad como descomponedores de la materia orgánica (Russell & Wild, 1989). Sánchez (2007) afirma que cuando el porcentaje de humedad en el suelo es pobre, los hongos lo toleran sin problema, al aumentar dicho porcentaje se favorece el incremento de UFC (Anexo11). Se encontró que cuando disminuyeron los niveles de humedad relativa ambiental y precipitación en 2011 (Anexo 10), disminuyeron drásticamente las poblaciones de hongos en el suelo (Cuadro 17).

De estos resultados se puede inferir que en suelos calcáreos no salinos al diversificar cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y realizar aplicaciones de vermicompost se influyó sobre la presencia de hongos. En el cultivo de nopal no se encontraron poblaciones de hongos en las tres variantes de vermicompost. Con la aplicación de 15-20 t (ha año)⁻¹ en el cultivo de guayaba y piña se encontraron poblaciones de *Aspergillus sp.*, que oscilaron entre 2×10^5 - 3×10^5 UFC. Este hongo se observó también en el cultivo de papaya al aplicar 10 t (ha año)⁻¹; con este nivel bajo de vermicompost se encontraron también en los cultivos de guayaba, piña y papaya los hongos *Curvularia sp.*, *Aspergillus sp.*, y *Pestalotia sp.*, respectivamente; oscilando entre 1×10^5 - 1×10^7 UFC. *Fusarium sp.*, y *Penicillium sp.*, se encontraron al aplicar dosis de 15 y 20 t (ha año)⁻¹ respectivamente, en el cultivo de papaya con poblaciones entre 1×10^5 - 3×10^5 UFC (Cuadro 17). Con el segundo año de tratamiento se observa la ausencia aparente de géneros de hongos en los cuatro cultivos.

Bacterias en el suelo

Otro grupo de microorganismos importante en el suelo son las bacterias, estas son más numerosas en el suelo y presentan mayor diversidad en su fisiología (Russell & Wild, 1989). Estos microorganismos son unicelulares y representan una de las formas de vida más simples y más pequeñas que se conocen. Al mismo tiempo, superan en número y en tipo a todos los otros organismos del suelo (Casanova, 2005).

Bacillus sp.

Las bacterias del género *Bacillus sp.*, fueron de mucha importancia en la presente investigación, se observaron en el año 2009 antes de la diversificación de cultivos y de aplicaciones de vermicompost, luego en el período 2010-2011 aparecen en los cuatro cultivos. Uno de los aspectos más relevantes planteados por Fassbender (1969) es que entre las bacterias aeróbicas que participan en la primera fase de la amonificación se encuentran varias especies del género *Bacillus sp.* y entre las anaeróbicas varias especies de *Clostridium sp.* (Anexo 9). Se confirma con los resultados obtenidos que cantidades superiores de vermicompost propician la supervivencia de bacterias con mejor eficacia (Cuadro 18).

Cuadro 18. Géneros de bacterias en suelo con aplicaciones de vermicompost y diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) UNA, 2009-2011

Año	T	Guayaba		Nopal		Piña		Papaya	
		G	UFC	G	UFC	G	UFC	G	UFC
2009	-	<i>Bacillus sp.</i>	1×10^8	<i>Bacillus sp.</i>	5.8×10^7	<i>Sarcina sp.</i>	3×10^6	<i>Bacillus sp.</i>	1.6×10^7
	<i>Bacillus sp.</i>					1.1×10^7			
	<i>Pseudomona sp.</i>					1.5×10^7	<i>Pseudomona sp.</i>		
2010	a ₁	<i>Sarcina sp.</i>	1×10^7	<i>Pseudomona sp.</i>	8×10^6	<i>Pseudomona sp.</i>	2.5×10^7	<i>Bacillus sp.</i>	2×10^7
					<i>Bacillus sp.</i>	2×10^7			
	a ₂	<i>Sarcina sp.</i>	3×10^6	<i>Bacillus sp.</i>	1.8×10^7	<i>Pseudomona sp.</i>	1.5×10^7	<i>Pseudomona sp.</i>	6×10^6
		<i>Bacillus sp.</i>	6×10^6	<i>Serratia sp.</i>	1.35×10^8	<i>Serratia sp.</i>	3×10^6		
a ₃	<i>Bacillus sp.</i>	2.3×10^7	<i>Pseudomona sp.</i>	8×10^6	<i>Erwinia sp.</i>	5×10^6	<i>Sarcina sp.</i>	3.5×10^7	
2011	a ₁	SS	1.1×10^7	<i>Bacillus sp.</i>	9×10^6	<i>Erwinia sp.</i>	1×10^6	<i>Bacillus sp.</i>	1×10^7
						<i>Sarcina sp.</i>	2×10^6		
	a ₂	<i>Bacillus sp.</i>	3.2×10^7	SS	2×10^6	<i>Bacillus sp.</i>	1.8×10^7	SS	3.3×10^7
						<i>Erwinia sp.</i>	4×10^6		
a ₃	<i>Caryophanon sp.</i>	3×10^6	<i>Bacillus sp.</i>	2×10^7	<i>Bacillus sp.</i>	1.8×10^7	<i>Bacillus sp.</i>	3.3×10^7	
	<i>Bacillus sp.</i>	3.7×10^7							

T: tratamiento; G: género; UFC: Unidades Formadoras de Colonias SS: *Sporolactobacillus sp.*

La mayor parte de las bacterias y actinomicetes se desarrollan mejor bajo pH neutro o ligeramente alcalino; el grupo de los hongos presentan un buen desarrollo dentro de límites de pH más amplios (Fassbender, 1969). García (2004); menciona también que con los hongos, en un rango de pH adecuado para la gran mayoría es de 2.0-9.0, pero casi todos crecen mejor en un pH ácido. El pH óptimo se encuentra alrededor de 5.6. Por esta razón en esta investigación se observó una mayor diversidad y cantidad de bacterias, más que de hongos, dentro del cultivo de guayaba.

En el 2009, antes de la diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y aplicación de vermicompost se identificaron tres géneros: *Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, y *Pseudomona sp.*, oscilando entre 3×10^6 - 1×10^8 UFC.

En 2010, con dosis de vermicompost entre 10-20 t (ha año)⁻¹ se identificó a *Bacillus sp.*, en los cuatro cultivos oscilando entre 6×10^6 - 2.3×10^7 UFC. *Sarcina sp.* (3×10^6 - 3.5×10^7 UFC), se identificó con aplicaciones entre 10-20 t (ha año)⁻¹ para el cultivo de guayaba y papaya. *Pseudomona sp.*, se observó con aplicaciones entre 10-20 t (ha año)⁻¹ en los cultivos de nopal, piña y papaya con 6×10^6 - 2.5×10^7 UFC. *Serratia sp.*, solo se observó con aplicaciones de 15 t (ha año)⁻¹ en cultivos de nopal y piña (3×10^6 - 1.35×10^8 UFC). *Erwinia sp.*, (5×10^6 UFC), apareció en este mismo año en el cultivo de piña con aplicación de 20 t (ha año)⁻¹.

En 2011, el género *Bacillus sp.*, nuevamente predomina con un nivel poblacional de entre 2×10^7 - 3.7×10^7 UFC con aplicaciones de 20 t (ha año)⁻¹ en los cuatro cultivos; con 15 t (ha año)⁻¹ apareció en guayaba y piña; con 10 t (ha año)⁻¹ se observó en nopal y papaya. *Sporolactobacillus sp.* (2×10^6 - 3.3×10^7 UFC), aparece con aplicaciones de 10 t (ha año)⁻¹ en guayaba y con aplicaciones de 15 t (ha año)⁻¹ en nopal y papaya. *Erwinia sp.* (1×10^6 - 4×10^6 UFC), se observa con 10-15 t (ha año)⁻¹ en el cultivo de piña. Y finalmente de forma aislada *Caryophanon sp.*, y *Sarcina sp.*, se encuentran en los cultivos de guayaba y piña con dosis respectivas de 10 y 20 t (ha año)⁻¹ (Cuadro 18).

Yami & Shrestha (2005) afirman que el vermicompost actúa como un amortiguador para la planta donde el pH del suelo es demasiado alto o bajo, por lo que permite que los nutrientes del suelo estén disponible a la planta. El vermicompost es biológicamente activo y los aportes de este biocorrector son más altos en bacterias.

Sarcina sp.

Con la diversificación de cultivos *Sarcina sp.*, fue aislada en muestras de suelo de cultivos de guayaba, piña y papaya. MASSON (2005); Carrillo (2003), plantean que son bacterias fermentativas acidogénicas, cocáceas grampositivas, anaerobias, que se disponen en paquetes de 8 elementos. Son saprófitas del aparato digestivo, identificadas en el tracto ruminal del ganado vacuno. El vermicompost aporta una gran carga bacteriana útil (varios billones de bacterias/g) respecto de unos pocos millones de bacterias/g de la mayoría de los guanos (Schuldt, 2006). La población de bacterias presente en el vermicompost, es similar al sustrato que le dio origen (Toyota & Kimura, 2000); con un incremento en la cantidad de algunos grupos de bacterias después de pasar por el intestino de la lombriz (Furlong *et al.*, 2002). Las bacterias (*Sarcina sp.*) que sobreviven en el tracto ruminal de las vacas, durante el proceso digestivo que conlleva la alimentación del ganado, son excretadas con el estiércol que posteriormente es utilizado para la alimentación de las lombrices, el vermicompost resultante al finalizar el proceso de homogenización, presenta aún propiedades que permiten la supervivencia de las mismas hasta su aplicación en campo, donde si las condiciones ambientales son favorables, tal es el caso para el año 2010 (Anexo 10) prosperan, luego al cambiar los factores ambientales (2011), se integran a la materia orgánica al morir.

Sporolactobacillus sp.

Con la diversificación de cultivos y aplicación de vermicompost se encontraron las bacterias *Sporolactobacillus sp.*, en los cultivos de guayaba, nopal y papaya. Estas bacterias son bacillus formadores de esporas, microaerófilos, grampositivos, perteneciente a un grupo de bacterias ácido lácticas, encontradas en el tracto digestivo y del rumen (Caja *et al.*, 2003). La capacidad biosintética de bacterias ácido lácticas es débil por lo que tienen una elevada exigencia de suministro de ciertos factores de crecimiento como son: aminoácidos, bases nitrogenadas, ácidos grasos, vitaminas, etc. (Loubiere *et al.*, 1997). La mayoría de bacterias *Sporolactobacillus sp.*, requirió de un suministro de nitrógeno para poder sobrevivir, lo que explica también una reducción dirigida a la disponibilidad de este nutriente en los momentos donde se encontró presente.

Caryophanon sp.

Caryophanon sp., se presentó solamente en guayaba. Schlegel (1996), menciona que este género de bacterias es flagelado formador de tricomas, que puede aislarse regularmente del estiércol de vaca. Este género sobrevive y coloniza utilizando como medio el vermicompost.

Pseudomona sp.

Pseudomona sp., al diversificar cultivo y aplicar vermicompost se presentó en nopal, piña y papaya. Según Ríos & Quintana (2004), la bacteriosis es una enfermedad causada en nopal por bacteria del género *Pseudomona sp.*, produce pudrición en las paletas. La mortalidad en nopal se dio continuamente a lo largo de la investigación y los síntomas característicos de esta enfermedad son observables tanto en 2010 como en 2011. El género *Pseudomona sp.*, se encontró también en piña (*Ananas comosus* L.) como agente secundario cumpliendo un rol saprófito en 2009 y 2010, dicha especie fue cultivada junto a nopal en dirección este. Considerando lo observado es conveniente afirmar que; dos especies como estas, no deben sembrarse cercanas una a la otra, sin poseer algún tipo de barrera o distancia que evite la propagación de esta bacteria.

La piña es atacada por varias enfermedades; a *Pseudomona sp.*, se le atribuye una de ellas. En un estudio llevado a cabo en España se realizó caracterización morfológica y fisiológica de la bacteria aislada de plantas de piña, las pruebas de patogenicidad confirmaron que la pudrición blanda, observada en la variedad Española Roja, es producida por la bacteria *Pseudomonas marginalis* (Marcano & Bravo, 1993). En este estudio dentro del cultivo de piña se pudo confirmar mortalidad por pudrición blanda ocasionada por el agente patógeno primario *Erwinia sp.*, y presencia de *Pseudomona sp.*, cumpliendo un rol secundario como saprófito en 2010 y presente en suelo con aplicaciones de los tratamientos a₁ y a₂ (Cuadro 18).

Según Beriam *et al.* (2006), la presencia natural de *Pseudomonas sp.*, causa síntomas foliares en plántulas de papaya. La presencia de *Pseudomona sp.*, con diversificación de cultivos y aplicación de vermicompost se confirmó en el suelo donde se cultivó papaya, su incidencia no ha sido grave en esta investigación, porque las plántulas utilizadas no presentaban dichos síntomas al momento de la siembra, solo algunas plantas dentro del tratamiento a₂ tenían sintomatología leve con manchas foliares parciales, en la etapa final del ciclo vegetativo; se corrigió con corte y eliminación de hojas afectadas, enterrando los residuos fuera de la plantación.

Serratia sp.

Serratia sp., al diversificar cultivos y aplicar vermicompost se encontró en el cultivo de nopal y piña. Esta bacteria se halla frecuentemente en suelos y aguas, posee como característica propia la de apenas fermentar lactosa, y la de producir muy poca o ninguna cantidad de gas en la fermentación de glucosa. (Marín, 2003). Según Koneman (2008); algunas cepas de estas especies producen sustancias químicas que promueven el crecimiento de las plantas, tienen propiedades antimicóticas, estimulan el establecimiento de simbiontes que fijan nitrógeno y actúan como patógenos de insectos. Este género es considerado un agente benéfico en la microflora asociada a cultivos, dentro de los procesos importantes para la fertilidad de suelos. La presencia de *Serratia sp.*, fue otro factor que mejoró el nivel de disponibilidad de nitrógeno; para lograrlo disminuyó el porcentaje de materia orgánica a través del proceso de mineralización.

Erwinia sp.

Erwinia sp., se observó en el cultivo de piña, causando mortalidad y pudriciones blandas. Según Ríos (2009), afirma que las *Erwinias* y *Pseudomonas* causantes de pudriciones blandas, pueden incrementar su población en el suelo. Continúa y menciona que existen especies de bacterias fitopatógenas (géneros de *Xanthomonas*, *Pseudomonas* y *Erwinia*) que actúan sobre las sustancias pécticas degradándolas; esto ocasiona desintegración de tejidos que se manifiesta como pudrición blanda o acuosa. Las primeras células bacterianas que penetran a los tejidos se alimentan de azúcares, sales y agua presentes en los espacios intercelulares; durante este proceso son producidas enzimas pectolíticas que degradan la lámina media y la pared celular de células colindantes que se destruyen, plasmolizan y mueren sirviendo de alimento para las bacterias, que así, sucesivamente se siguen multiplicando; como resultado de esta actividad se presenta el aspecto húmedo y la pérdida de turgencia de los órganos atacados.

De estos resultados se puede deducir que:

En suelos calcáreos no salinos al diversificar cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya), luego de dos años de investigación, con aplicaciones de vermicompost nivel a₁ se identificaron cinco géneros de bacterias (*Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, *Pseudomona sp.*, *Erwinia sp.* y *Sporolactobacillus sp.*) cuyas UFC oscilan entre 1×10^6 - 2.5×10^7 , con dosis a₂ se presentaron seis géneros (*Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, *Pseudomona sp.*, *Serratia sp.*, *Erwinia sp.* y *Sporolactobacillus*) con UFC entre 2×10^6 - 1.35×10^8 y de igual forma con dosis a₃ se encontraron cinco géneros oscilando entre 3×10^6 - 1.8×10^7 UFC (*Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, *Pseudomona sp.*, *Erwineia sp.*, y *Caryophanon sp.*) (Cuadro 18). En total la diversidad de géneros de bacterias en esta investigación varió de 3 en 2009 a 7 durante el estudio. Organismos como las lombrices mezclan mecánicamente las partículas minerales e incrementan el área específica de tales materiales, a través de disgregación, molienda y digestión, incrementan la actividad microbiana y el número de bacterias (Winding *et al.*, 1997).

Actinomicetos en el suelo

Los actinomicetos son otros microorganismos que se encuentran en el suelo, aguas estancadas, lodo y materiales orgánicos. Degradan desde azúcares simples, proteínas, ácidos orgánicos hasta sustratos muy complejos compuestos por hemicelulosas, ligninas, quitinas y parafinas. Por esto son importantes en el proceso de transformación hasta la obtención de humus en el suelo (Torrice & Cardona, 2008).

Entre los géneros más importantes de actinomicetos para la agricultura están *Actinomyces*, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Micromonospora* y *Frankia* (Elke *et al.*, 1992). El género *Streptomyces sp.*, se presentó con la diversificación de cultivos y aplicación de vermicompost en las cuatro especies establecidas (Cuadro 19). Para guayaba; la afinidad de interacción proactiva con estos resultados fue excelente al presentarse bacterias *Bacillus sp.* y actinomicetos *Streptomyces sp.* con el tratamiento a₂. No así al presentarse interacciones entre bacterias *Caryophanon sp.* y *Streptomyces sp.*, para a₃, porque al ver una población de este último reducida y observar a *Caryophanon sp.* superior, deja percibir cierto antagonismo entre ambas.

El número de actinomicetos es mayor en suelos ricos en materia orgánica o humus y, sobre todo, en suelos abonados con excretas animales ó residuos de cosechas, lo mismo que en la rizosfera, desde luego dependiendo de la vegetación (Velásquez, 1990). Niveles menores de materia orgánica sumado a un suministro menor de vermicompost, no contribuye a la prosperidad de actinomicetos; caso observado al comparar los cuadros 8, 9, 12 y 19 para a₁ (nivel de actinomicetos bajo, no reportable). Una actividad superior en los niveles poblacionales de *Streptomyces sp.*, es más factible con aplicaciones iguales o superiores a 15 t (ha año)⁻¹ de vermicompost comprobado con diversificación de cultivos (nopal, guayaba y piña).

Cuadro 19. Géneros de actinomicetos en suelo con aplicaciones de vermicompost y diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) UNA, 2009-2011

Año	T	Guayaba		Nopal		Piña		Papaya	
		G	UFC	G	UFC	G	UFC	G	UFC
2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	a ₁	-	-	-	-	-	-	-	-
	a ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
	a ₃	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	a ₁	-	-	-	-	-	-	<i>StS</i>	2x10 ⁶
	a ₂	<i>StS</i>	6x10 ⁶	<i>StS</i>	3.3x10 ⁷	<i>StS</i>	1x10 ⁵	-	-
	a ₃	<i>StS</i>	2x10 ⁶	<i>StS</i>	2x10 ⁶	-	-	-	-

T: tratamiento; G: género; UFC: Unidades Formadoras de Colonias; *StS*: *Streptomyces sp.*

En suelos calcáreos no salinos con diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya), luego de dos años de investigación, con aplicaciones de vermicompost y tratamientos a_1 , a_2 y a_3 se identificó 1 género de actinomicetos (*Streptomyces sp.*) cuyas UFC oscilan entre 1×10^5 - 3.3×10^7 (Cuadro 19). El suelo representa un sustrato ideal para el desarrollo de actinomicetos, los cuales pueden muestrearse tanto en suelos forestales como en suelos de cultivos. Estos microorganismos son abundantes en suelo alcalinos y sobre todo donde abunda la materia orgánica, ya sean en forma natural ó provocada por el aporte humano, como es el caso con las compostas. La función de estos microorganismos en estos ambientes está dirigida a la descomposición de residuos orgánicos, además de que intervienen activamente en la síntesis húmica y favorecen la nutrición de las plantas (Ferrera & Alarcón, 2007).

Comportamiento de hongos, bacterias y actinomicetos en el suelo

En los cultivos de guayaba y nopal se encontró el género *Streptomyces sp.*, al hacer aplicaciones de 15 - 20 t (ha año)⁻¹ observando niveles poblacionales superiores 2×10^6 - 3.3×10^7 UFC. En el cultivo de piña con 15 t (ha año)⁻¹ también se encontró este género pero con un nivel menor de UFC (1.00×10^5). Solamente en el cultivo de papaya el tratamiento de 10 t (ha año)⁻¹ propició la propagación de *Streptomyces sp* identificándose 2×10^6 UFC.

De los resultados del análisis microbiológico del suelo de esta investigación se puede aseverar que en un suelo calcáreo no salino sin efecto antropogénico los microorganismos que predominan son bacterias del género *Bacillus* y esporádicamente bacterias de los géneros *Pseudomona* y *Sarcina*, cuyas UFC máximas fueron 1×10^8 , 1.5×10^7 y 3×10^6 respectivamente. En este mismo tipo de suelo con la diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y aplicaciones de vermicompost se incrementó la diversidad de géneros de microorganismos al concluir el estudio. El total de géneros de microorganismos fueron 13; de estos 10 (*Curvularia*, *Aspergillus*, *Pestalotia*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Serratia*, *Erwinia*, *Sporolactobacillus*, *Caryophanon* y *Streptomyces*) son diferentes a los ya existentes antes de la influencia antropogénica; cinco hongos, cuatro bacterias y un actinomiceto.

Interacción entre cultivos guayaba ;(*Psidium guajava* L), nopal (*Opuntia ficus-indica* L.), piña (*Ananas comosus* L.), papaya (*Carica papaya* L.) y microorganismos en tejidos vegetales según literatura.

Una visión amplia de la interacción entre plantas y microorganismos se puede establecer. El código simple empleado para representar las interacciones es: (+) positiva, (-) negativa y (0) neutra. La interacción puede ser negativa, como el caso del parasitismo (+ -) (- +) si un organismo se beneficia de otro produciendo un daño, dentro de las interacciones esta se considera clave en la resistencia ecológica de las comunidades vegetales frente a la invasión de microorganismos. La interacción puede ser positiva, representada por el mutualismo (+ +) que ha sido objeto de mayor atención en la comunidad científica. Comensalismo (0 +) (+ 0) incluye aquellas relaciones en la que un organismo se alimenta de otro sin producir daño aparente. Neutralismo (0 0) es una interacción en la que los organismo involucrados no sufren daño o beneficio alguno (Lluch *et al.* 2003).

Cuadro 20. Interacciones cultivo-microorganismos según literatura: mutualismo (+ +), comensalismo (+ 0) (0 +), neutralismo (0 0), parasitismo (- +) de microorganismos en suelo con diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y aplicaciones de vermicompost, UNA, 2009-2011

Año	Microorganismo (Primer presencia)	Guayaba				Nopal				Piña				Papaya				Σ
		a ₁	a ₂	a ₃	I	a ₁	a ₂	a ₃	I	a ₁	a ₂	a ₃	I	a ₁	a ₂	a ₃	I	
2009	<i>Bacillus sp.</i> (b)		X	X	++	X	X	X	++	X	X	X	++	X		X	++	10
	<i>Sarcina sp.</i> (b)	X	X		+0				+0	X			+0			X	+0	4
	<i>Pseudomonas sp.</i> (b)				-+	X		X	-+	X	X		-+		X		-+	5
2010	<i>Curvularia sp.</i> (a)	X			0+				-+				-+				-+	1
	<i>Aspergillus sp.</i> (a)		X	X	++				0+		X	X	-+	X			-+	5
	<i>Pestalotia sp.</i> (a)				-+				00	X			0+				00	1
	<i>Fusarium sp.</i> (a)				-+				0+				-+		X		-+	1
	<i>Penicillium sp.</i> (a)				-+				-+				-+			X	-+	1
	<i>Serratia sp.</i> (b)				++	X			++		X		++				++	2
	<i>Erwinia sp.</i> (b)				-+				-+	X	X	X	-+				-+	3
2011	<i>Sporolactobacillus sp.</i> (b)	X			-+	X			-+				+0		X		-+	3
	<i>Caryophanon sp.</i> (b)			X	+0				+0				+0				+0	1
	<i>Streptomyces sp.</i> (c)		X	X	++	X	X	++		X		++	X			++	++	6
Σ		3	4	4		2	4	3		5	6	3		3	3	3		43

Hongos (a); bacterias (b); actinomicetos (c); I: interacción cultivo-microorganismos.

Los autores que respaldan la información mostrada en el cuadro 20 adicionales a los ya mencionados en el texto son: AGROSÍNTESIS (2013); Cook (1975); Flores (2012); Pac (2005); Morera & Blanco (2009); COSAVEDF (2004); Ventura & Zambolim (2002) y MAG (1991).

El buen aprovechamiento de la actividad poblacional de microorganismos, al utilizar diversificación de cultivos, requiere de un conocimiento profundo sobre la interacción cultivo-microorganismo, la presencia de un género microbiano puede ser inofensivo para una especie vegetal y perjudicial para otra; por ejemplo: *Bacillus sp.*, presenta una interacción del tipo mutualismo (+ +) para las cuatro especies cultivadas (guayaba, nopal, piña y papaya). *Pestalotia sp.*, interactúa de tres maneras: tiene un comportamiento de parasitismo (- +) en el cultivo de guayaba; comensalismo (0+) en el cultivo de piña y neutralismo (0 0) en los cultivos de nopal y papaya. El cuadro 20 muestra el consolidado de todas interacciones reportadas con las especies de cultivos y microorganismos en la presente investigación. Esta metodología puede ser replicada con otras especies vegetales y microorganismos, en otros ambientes, donde se requiera describir y analizar las interacciones para tomar decisiones sobre el diseño y mejora de sistemas agroecológicos.

En suelos calcáreos no salinos al diversificar cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya), luego de dos años de investigación, con aplicaciones de vermicompost en el tratamiento a₁ se identificaron 9 géneros de microorganismos (3 hongos, 5 bacterias y 1 actinomiceto) con tratamiento a₂ se observaron 9 géneros de microorganismos (2 hongos, 6 bacterias y 1 actinomiceto) y en a₃ se hizo conteo de 8 géneros de microorganismos (2 hongos, 5 bacterias y 1 actinomiceto); ver cuadro 20.

La agricultura basada en los principios agroecológicos requiere de procesos en los que interactúan diferentes elementos, entre ellos los microorganismos; estos en la presencia de cultivos como guayaba, nopal, piña y papaya, sumado a un suministro continuo de vermicompost, incrementan o disminuyen sus poblaciones desempeñando roles benéficos o perjudiciales. Con los resultados de esta investigación se han identificado los géneros, las posibles fluctuaciones poblacionales, las interacciones y los roles que juegan los microorganismos más importantes para dichos cultivos, con aplicaciones de vermicompost.

4.1.3 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de guayaba (*Psidium guajava* L.)

El país en general, cuenta con zonas donde se producen varias especies de frutales, tales como bananos, mangos, aguacates, guanábanas, marañones, anonas, nísperos, zapotes, piñas, guayabas y papayas. Europa es un fuerte importador de frutas tropicales, sobre todo de piñas y bananas, con un 50,53% del valor mundial importado. Nicaragua exporta guayabas, mangos y mangostanes y sandías al resto del mundo, aunque de forma muy escasa hacia Europa. Los principales criterios para el éxito se encuentran en la novedad, la percepción de beneficios para la salud, conveniencia, proveedores fiables y promoción efectiva. Las frutas exóticas son particularmente interesantes para la industria de las bebidas y los zumos en la Unión Europea debido a que son bastante conocidas. Ejemplos de frutas exóticas etiquetadas como superfruta son la granada, el açaí y la guayaba (CEI, 2010).

Dentro de la diversificación de cultivos utilizar la especie guayaba (*Psidium guajava* L.) resulta una excelente alternativa de producción y venta como fruta fresca ó producto procesado con valor agregado. Este cultivo permite tener oportunidades en diversos mercados nacionales como internacionales, siempre que se cumpla con los estándares de calidad necesarios. Ya existe una Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense de Jalea de Guayaba (0358-04), con la que empresas que se dedican a la producción y comercialización ponen en práctica garantizando buenas prácticas agrícolas y de manufactura.

El valor nutritivo de las frutas de guayaba se encuentra en su alto contenido de vitaminas A y C, es baja en calorías y contiene fibra. Una porción de 100 gramos tiene 51 calorías y 284 miligramos de potasio (Barbeau, 1990).

Según Coletto (1994), durante las distintas fases de los ciclos vegetativos y reproductivos de un cultivo perenne, los elementos presentes en la parte aérea del árbol (ramas, hojas, yemas, brotes, flores y frutos) muestran un aspecto exterior diferente, medible a través de variables. Esto tiene gran importancia práctica para la determinación de las fechas de aplicación de productos fitosanitarios, abonos, reguladores de crecimiento, riego, entre otros.

Debido a su origen, la guayaba crece mejor en las áreas tropicales y sub-tropicales. Un clima cálido y húmedo es el mejor para las guayabas. Sin embargo, se da bien tanto en climas húmedos, como secos; desde el nivel del mar hasta los 2000 m. La temperatura óptima requerida para el cultivo del guayabo varía entre los 20° a 30 °C. Las temperaturas bajas durante el invierno o durante la estación seca son causa de una defoliación natural, y la floración comenzará tan pronto como el clima cálido y las lluvias induzcan el crecimiento de floraciones y la fructificación. (ONU, 2003). Tomando en cuenta los datos proporcionados por el INETER (Anexo 10), correspondientes a los años de estudio 2009, 2010 y 2011; se puede confirmar que los mismos coinciden dentro de los parámetros mencionados por la ONU, la zona cumple con los requisitos climáticos necesarios para un crecimiento adecuado del cultivo.

Dentro de la población de plantas establecidas la mortalidad representa la diferencia entre las plantas sembradas y aquellas que sobrevivieron a lo largo de un período de tiempo determinado, para esta investigación se definió como período de evaluación 2009-2011 y la densidad inicial por hectárea para guayaba (*Psidium guajava* L.) fue de 1 111 plantas. En este cultivo no se reporta ninguna planta muerta posterior a su establecimiento, luego de aplicaciones continuas de vermicompost.

Se realizó un análisis no paramétrico al 95 % de confianza según Kruskal Wallis para verificar si hay diferencias estadísticas entre tratamientos a_1 , a_2 y a_3 sobre el crecimiento medido utilizando las siguientes variables: “número de ramas secundarias”, “número de frutos en ramas secundarias”, “número de ramas terciarias”, “número de frutos en ramas terciarias” y “número de frutos totales” (Cuadro 21). En todas las variables evaluadas no hubo diferencias estadísticas significativas, es decir, el vermicompost no influyó sobre estas variables de crecimiento (Anexo 12). Las condiciones ambientales fueron adecuadas para todos los tratamientos en estudio y la genética de las plantas utilizadas es idéntica (variedad taiwanesa); las variaciones fenotípicas se observan en la mayoría de las especies cuando el ambiente influye sobre dichas especies. Todos los biólogos concuerdan que los ritmos de crecimiento son controlados por un reloj biológico, porque en condiciones ambientales constantes las plantas se comportan de forma “rítmica”. Estos relojes biológicos son sincronizados con una variable ambiental que varía en forma cíclica, por ejemplo la luz (Curtis, 2008).

A través de un análisis de correlación sendero (path analysis) se verificó la importancia, entre ramas terciarias y secundarias, sobre el “número de frutos totales” encontrados por planta. Se pudo constatar que con un mayor número de ramas terciarias existe un 70 % de probabilidad de tener más frutos comerciales; esto se comprobó con un p-valor menor a 0.0001 (Cuadro 21). La poda de producción se realiza en árboles perennes, esta práctica consiste en mejorar la distribución, posición, tamaño y calidad de los frutos. Contribuye a disminuir el problema de la irregularidad en la producción. Se realiza aplicando podas de rebaje y de raleo de ramas. Es importante conocer la forma en que fructifica cada frutal. (Barahona & Sancho, 2000). Al utilizar vermicompost, se debe poseer entre 16-25 ramas terciarias por planta para poder asegurar al menos entre 25-38 frutos para la selección, cuando dichos frutos poseen entre 3-4 cm de “eje mayor de guayaba”, es decir el tamaño aproximado de una pelota de golf (Anexo 12).

Cuadro 21. Análisis de sendero (path analysis) sobre el número de frutos y número de ramas en el cultivo de guayaba, Managua, 2009-2011

Variable dependiente: N° de frutos en ramas secundarias			
Efecto	Vía	Coefficientes	p-valor
Ramas terciarias	Directa	0.27	
Ramas terciarias	Ramas secundarias	-0.01	
r total		0.26	0.1857
Ramas secundarias	Directa	-0.02	
Ramas secundarias	Ramas terciarias	0.12	
r total		0.11	0.5983
Variable dependiente: N° de frutos en rama terciaria			
Efecto	Vía	Coefficientes	p-valor
Ramas terciarias	Directa	0.84	
Ramas terciarias	Ramas secundarias	-0.14	
r total		0.7	<0.0001
Ramas secundarias	Directa	-0.31	
Ramas secundarias	Ramas terciarias	0.38	
r total		0.08	0.6999
Variable dependiente: N° Frutos totales			
Efecto	Vía	Coefficientes	p-valor
Ramas terciarias	Directa	0.84	
Ramas terciarias	Ramas secundarias	-0.14	
r total		0.71	<0.0001
Ramas secundarias	Directa	-0.3	
Ramas secundarias	Ramas terciarias	0.39	
r total		0.09	0.6673

Un mejor rendimiento tiene como objetivo optimizar los componentes de estudio que giran en torno al fruto, caracterizado por su forma redonda, un poco achatados en el pedúnculo y ápice, su epicarpo es liso, de color verde pálido, de consistencia jugosa y crocante, sabor dulce (García, 2002). Según el CENTA (2002) la inflorescencia de la guayaba taiwanesa está formada por tres flores, de las cuales se eliminan manualmente las laterales, dejando únicamente la del centro; cuando las flores se polinizan y se notan los pequeños frutos se procede a retirar cualquier otra fruta que esté en el mismo nudo, de preferencia la que queda más expuesta al sol, ya que se dañará.

Para analizar el rendimiento en el cultivo de guayaba se establecieron como variables de evaluación a: “n° de frutos cosechados”, “eje mayor de guayaba”, “eje menor de guayaba” y “peso de frutos”. Luego del análisis estadísticos multivariados ANAVAM de acuerdo a la sintaxis de interpretación según Pedroza & Dicovskyi (2006) se determina que existen diferencias estadísticas significativas. Los resultados clasifican en tres categorías estadísticas a los tratamientos de vermicompost: en la categoría “a” el tratamiento a_3 , en la categoría intermedia “ab” el tratamiento a_1 y dentro de la categoría “b” el tratamiento a_2 (Cuadro 22, Figura 2). El tratamiento a_3 se presenta con el mejor resultado en el rendimiento, debido a que los niveles de nitrógeno y materia orgánica se comportaron de manera óptima para 2010 y 2011. En cambio los tratamientos a_1 y a_2 sufrieron fluctuaciones. El tratamiento a_1 obtuvo mejor rendimiento que el a_2 , porque en el primer año a_1 presentó un nivel de N óptimo y a_2 un nivel bajo originado por un incremento exponencial de la actividad de *Aspergillus sp* y *Bacillus sp.*, (Cuadros 17 y 18), estos microorganismos son benéficos para incrementar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, sin embargo, su actividad en ese momento no propició un buen rendimiento en 2010, porque también son consumidores de N para degradar materia orgánica, en cambio un año después, en 2011, esa actividad sí resultó beneficiosa para el cultivo (Cuadro 8 y 10). La importancia del N en guayaba forma parte de un balance nutricional aprovechado por este cultivo, para su crecimiento. En la India, se realizaron experimentos con aspersión de 1 y 2% de urea en agua, este tratamiento incrementó el rendimiento, 12.6 y 45.3% respectivamente, de igual forma se observó un aumento en la probabilidad, para las flores polinizadas, de pasar a la etapa de formación de fruto sin presentar dehiscencia (Mata & Rodríguez, 1990).

Cuadro 22. Resultado de las variables de rendimiento en el cultivo de guayaba con aplicaciones de vermicompost, UNA, 2009-2011

Variables	Análisis estadístico	Categorías estadísticas
N° de frutos cosechados Eje mayor de guayaba Eje menor de guayaba Peso de frutos	ANAVAM (Separación de medias según Hotelling al 95% de confianza)	“a” → a ₃ “ab” → a ₁ “b” → a ₂

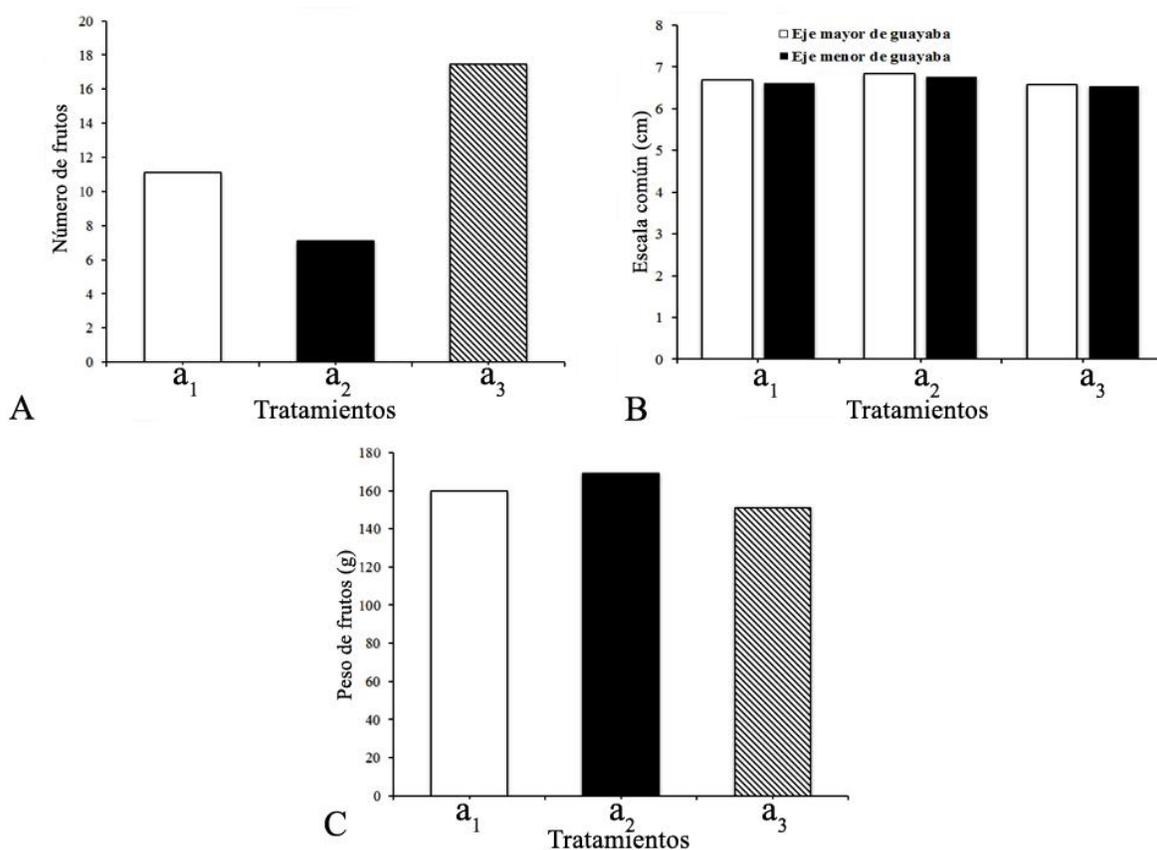


Figura 2. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “n° de frutos cosechados”; B: “eje mayor de guayaba” y “eje menor de guayaba”; C: “peso de frutos” al aplicar vermicompost en el cultivo de guayaba, Managua, 2009-2011.

Para el cultivo de guayaba el tratamiento que alcanzó más niveles óptimos en las propiedades físico-químicas, una mayor diversidad de microorganismos y un mayor número de frutos fue el tratamiento de 20 t (ha año)⁻¹. El mejor rendimiento se obtuvo donde se observó un buen comportamiento en los dos primeros análisis mencionados. Se afirma que para que se puedan obtener buenos resultados en el rendimiento al utilizar vermicompost el suelo tratado con el mismo debe obtener niveles óptimos para el cultivo en sus propiedades físico-químicas y generar buena actividad microbiana especialmente de los géneros *Bacillus sp.*, y *Aspergillus sp.*

Estos resultados demuestran que es posible obtener buenos rendimientos en el cultivo de guayaba, alcanzar niveles óptimos agroecológicos de suelo para la variedad Taiwanesa e incrementar la actividad microbiana; al utilizar vermicompost. Replicar una actividad agroecológica como esta en otros sitios del país con características de suelo similares a las descritas en la presente investigación, permitirá alcanzar excelentes resultados en el rendimiento y la calidad del suelo cultivado.

4.1.4 Influencia del vermicompost sobre crecimiento y rendimiento del cultivo de nopal (*Opuntia ficcus-indica* L.)

El “nopal” es una planta de la familia *Cactácea* de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* que se produce principalmente en zonas templadas, semiáridas y tropicales secas. Esta planta originaria de América se distribuyó desde México hacia otros países (Sánchez, 2006).

Jarquín *et al.*, (2012) afirma que el interés por el cultivo del nopal se debe a su alto porcentaje de sobrevivencia, resistencia a la sequía, altas temperaturas y adaptabilidad a suelos poco fértiles y su alta productividad lo cual se debe a su alta eficiencia en cuanto al uso del agua. La FAO (2003) menciona que hay un creciente interés en la especie *O. ficcus-indica* L. y en el papel que desempeñan dentro de sistemas agroecológicos. Blanco (2010), afirma que además de sus propiedades nutricionales y culinarias, tiene muchas propiedades medicinales. La utilización del nopal con fines medicinales data de la época de los aztecas, quienes lo usaban con frecuencia. Los cactus en general presentan un crecimiento reducido, en parte, a las limitaciones del medio donde crecen. Las *Opuntias* silvestres son usualmente encontradas en suelos pobres, con bajo contenido de materia orgánica, en regiones donde la duración del período de crecimiento no permite la expresión de su potencial productivo. La diversificación de cultivos que incluyen a esta especie contribuye a la sostenibilidad de sistemas agrícolas en zonas áridas y semiáridas, donde agricultores y ganaderos deben concentrarse en aquellas especies que pueden no solo sobrevivir sino también producir económicamente (FAO, 2003).

Experimentos de fertilización conducidos por Mondragón (1994), mostraron que la fertilización sintética promovió altos rendimientos de frutos y cladodios, la reactivación de yemas y el incremento del tamaño de los cladodios. En este estudio se evaluaron dos factores; diferentes dosis de vermicompost [10, 15 y 20 t (ha año)⁻¹] y tres frecuencias de cosecha (30, 60 y 90 días). Al realizar análisis de varianza y separación de medias según Tukey al 99% de confianza sobre los componentes del crecimiento se determinó que existen diferencias estadísticas significativas para el “número de brotes”, “número de cladodios” y “eje menor del cladodio”.

La población en el cultivo de nopal fue afectada en general, por una mortalidad, que redujo la densidad de siembra inicial de 20 000 plantas por hectárea a un promedio de 17 288 plantas por hectárea entre tratamientos. El análisis de varianza no paramétrico con separación de rangos según Kruskal Wallis al 95 % de confianza muestran que a pesar de la mortalidad observada no hay diferencias estadísticas significativas sobre la variación poblacional entre tratamientos, luego de dos años de estudio (Figura 3).

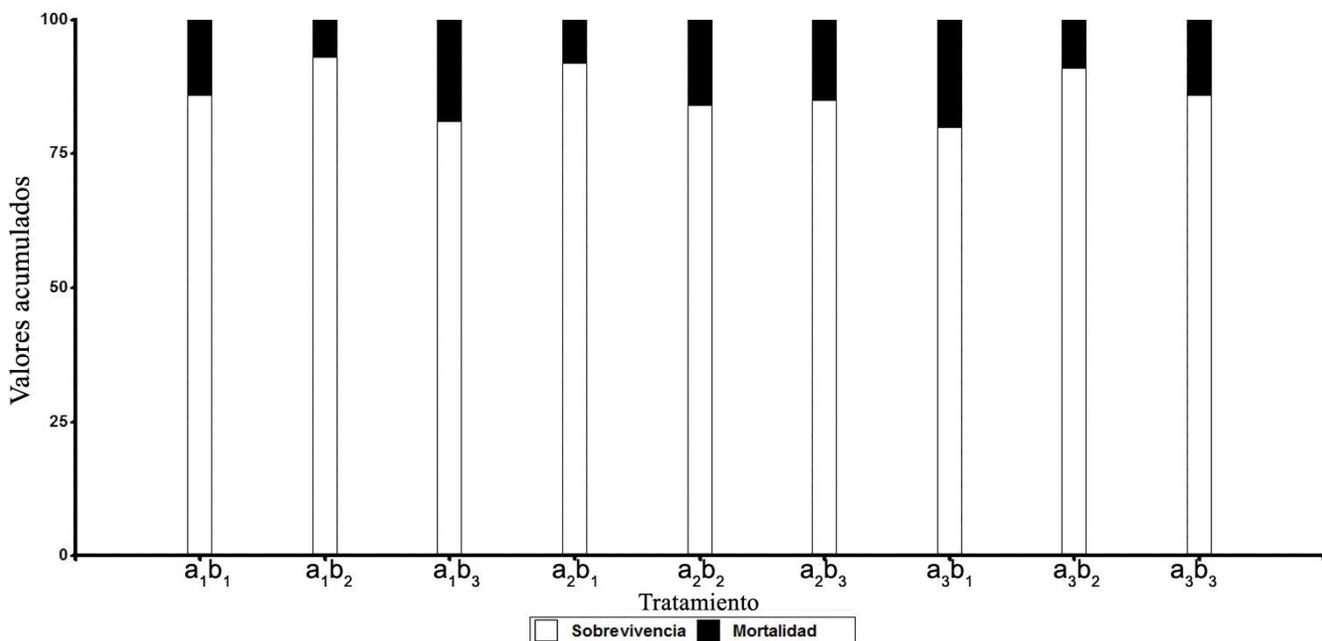


Figura 3. Comportamiento de la población en plantas de nopal, Managua, 2009-2011.

La causa de muerte de plantas de nopal se atribuye al género de bacterias *Pseudomona sp.*, que fue determinada en los niveles a₁ y a₃ en 2010, esta realidad fue descrita claramente con el análisis microbiológico. *Pseudomona sp.*, es un género reportado como causante de la bacteriosis en nopal (Ríos & Quintana, 2004). Durante los dos años de investigación se realizó el monitoreo de la mortalidad de plantas de nopal; el resultado descriptivo del mismo se observa en la figura 3, muestra que los porcentaje máximos alcanzados, corresponden a los niveles a₁ y a₃. Este resultado presenta coherencia con el ritmo poblacional de los microorganismos. Realizar cosechas continuamente cada 30, 60 y 90 días, siempre y cuando se tomen en cuenta las medidas fitosanitarias correctas, no influirá significativamente sobre la mortalidad en el cultivo de nopal (Figura 3 y Cuadro 18).

En esta investigación se considera “brote” a todo cladodio con un “eje mayor de cladodio” inferior a 10 cm y se considera “cladodio comercializable” a todo aquel que supere los 15 cm en dicha variable.

El “número de brotes” fue una variable que mostró 5 categorías estadísticas. El mayor número alcanzado lo presentó el tratamiento a₂b₃ (6.88 brotes por planta) en la categoría “a” y en la categoría “c” se encontró con el menor número de brotes el tratamientos a₃b₁ con 3.91 brotes por planta (Figura 4). En materia de nutrición de suelos, se sabe que aquellas plantas mejor nutridas son favorecidas por niveles óptimos en el suelo y presentan mejor crecimiento. En el Cuadro 9, es evidente que el nivel de vermicompost que obtuvo el mejor porcentaje de N fue a₂ en los dos años 2010-2011. En la variable “número de brotes” los tratamientos que obtuvieron mejores resultados fueron a₂b₃, a₂b₁ y a₂b₂, todos con dosis de 15 t (ha año)⁻¹. Con el tratamiento a₂b₃ se demostró que 90 días para frecuencia de cosecha es un tiempo excelente para el surgimiento de brotes en esta especie, donde la cantidad de yemas aumenta a causa de un número significativo de cladodios no cortados, que representan la base, para tener un mejor desarrollo de brotes a futuro. Estructuralmente estas plantas se desarrollan más, porque los cortes son menos frecuentes.

Los tratamientos a_3b_2 y a_2b_1 en la segunda categoría, nos confirman que una cantidad alta de vermicompost [$15-20 \text{ t (ha año)}^{-1}$] propicia una multiplicación adecuada de brotes. Se observa una tendencia entre el crecimiento y la frecuencia de cosecha, aquellas plantas que son cosechadas a los 90 días (a_2b_3) presentan mayor número de brotes que aquellas que son cosechadas a los 60 días (a_3b_2) y estas últimas mayor número que las cosechadas cada 30 días (a_2b_1). La frecuencia con la que se cosecharon las plantas influyó sobre la posibilidad de obtener mayor número de brotes. Dicho de otra forma; 90 días para frecuencia de cosecha propicia un mayor número de brotes, si las condiciones de fertilidad en el suelo son óptimas. El crecimiento vegetal, sin la intervención del hombre, es el aumento irreversible del tamaño y el peso seco de las plantas junto a un aumento de la complejidad estructural y metabólica a través del tiempo (Salisbury & Ross, 1992).

En la tercera categoría para número de brotes se encuentran a_1b_2 , a_3b_3 , a_1b_1 y a_2b_2 . Dos de los tratamientos donde se aplicó una cantidad menor de vermicompost [$10 \text{ t (ha año)}^{-1}$] aparecen en esta categoría. En el cuadro 9 se verifica un menor nivel de nitrógeno con el uso de $10 \text{ t (ha año)}^{-1}$ de vermicompost, por otro lado se confirma que ya sea con 30, 60 ó 90 días como frecuencia de cosecha, este nivel no alcanzará un nivel tan alto de brotes como el que se alcanzó con [$15-20 \text{ t (ha año)}^{-1}$] de vermicompost. Una combinación de alta dosis de vermicompost [$20 \text{ t (ha año)}^{-1}$] con una espera larga de 90 días para la cosecha no conviene para el número de brotes, de hecho es superado por a_1b_2 . El menor número de brotes fue encontrado cuando se aplicó a_1b_3 y a_3b_1 . Cuando el nivel más bajo de vermicompost se combinó con 90 días de frecuencia de cosecha, resultó en un nivel de brotes bajo. Aplicar una alta dosis [$20 \text{ t (ha año)}^{-1}$] no propicia la condición necesaria para mantener un ritmo de cosecha frecuente cada 30 días. Según la ley de los rendimientos decrecientes “a medida que se aumentan las dosis de los elementos fertilizantes, disminuye el incremento de cosecha que se consigue por cada unidad fertilizante suministrada, hasta llegar a un momento en el que los rendimientos no solo no aumentan, sino que disminuyen” (Mitscherlich, 1909).

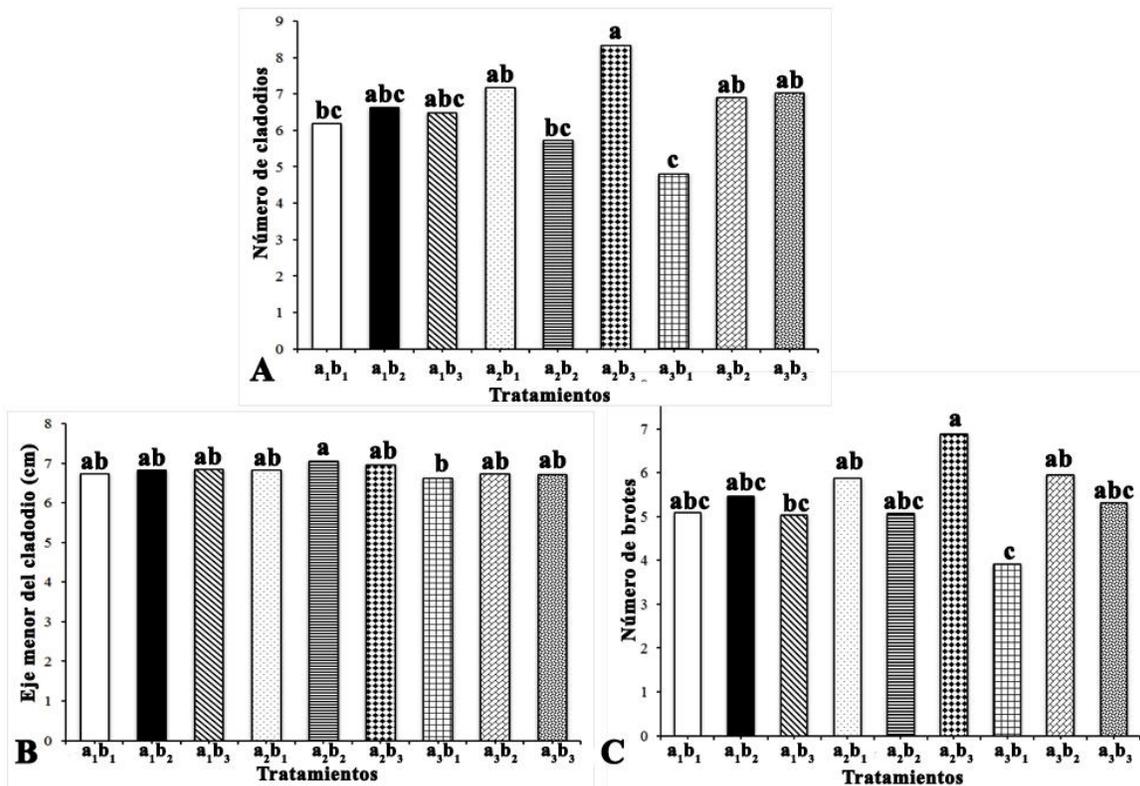


Figura 4. Variables del crecimiento en el cultivo de nopal, Managua, 2009-2011. A: Número de cladodios; B: Eje menor del cladodio (cm). C: Número de brotes.

El “número de cladodios” fue una variable que mostró 5 categorías estadísticas, en la categoría “a” con el mayor número de cladodios se encuentra el tratamiento a₂b₃ con 8.33 cladodios por planta y el número de cladodios más bajo está en la categoría “c” con el tratamiento a₃b₁ presentando 4.81 cladodios por planta (Figura 4). Los resultados obtenidos con el número de cladodios no difieren mucho de los resultados observados con la variable número de brotes por planta; en la figura 4 el comportamiento es similar, la justificación de esto adquiere una igualdad de condición. Se afirma que un mayor número de brotes condiciona o asegura una mayor formación de cladodios. Las variaciones en las categorías intermedias en el número de brotes y número de cladodios, se debieron al desgaste progresivo provocado por el factor frecuencia de cosecha, sobre las plantas de nopal. Este argumento está soportado con la siguiente observación: al comparar ambas variables, se verifica que a₃b₃ y a₁b₃ suben de categoría para el número de cladodios y que a₁b₁ y a₂b₂ bajan de categoría, en esta misma variable, a causa de una cosecha más frecuente causante de heridas continuas en la zona de crecimiento apical del cladodio, aumentando el estrés y reduciendo el número de cladodios en próximos cortes. Las divisiones celulares que dan inicio a la formación de la hoja comienzan en la periferia del meristemo apical. Las divisiones de este conjunto de células originan la protuberancia foliar, que se alarga para producir un eje foliar cónico mediante la activación de un meristemo apical (Brutnell & Langdale, 1998).

El “eje menor del cladodio” fue una variable que mostró 3 categorías estadísticas distribuyendo así los 9 tratamientos; en la categoría “a” cuya medida fue superior, está el tratamiento a_2b_2 con 7.04 cm y la categoría “b”, con una medida inferior contiene el tratamiento a_3b_1 con 6.61 cm (Figura 4). García *et al.*, (2000), realizó una investigación en la que no encontró diferencias significativas para los parámetros evaluados, pero se observó un incremento de 13 % en el número de cladodios por planta y de 30 % en el área fotosintéticamente activa, al comparar los tratamientos [0, 15, 30, 45 y 60 t (ha año)⁻¹] con bioabono (mezcla guano y tuna) respecto del testigo sin bioabono. A diferencia de los resultados obtenidos por García *et al.*, (2000), con respecto al área fotosintéticamente activa, quien utilizó el método de Lachica *et al.*, (1965), con plantas de nopal, en la presente investigación, se encontró diferencias estadísticas significativas al utilizar vermicompost y frecuencias de cosecha diferida. Uno de los componentes utilizados para el cálculo de dicha área fotosintética, según el método empleado por García, fue el “eje menor del cladodio”, declarado así en este documento, porque la forma del cladodio describe similitud a una elipse. El incremento o disminución de esta variables repercutirá en una mayor o menor área fotosintéticamente activa proporcional a su variabilidad. Se reporta que es posible alcanzar una mayor área fotosintéticamente activa, en el cultivo de nopal, cuando se aplica 15 t (ha año)⁻¹ de vermicompost y se realiza cosecha cada 60 días (tratamiento a_2b_2).

Según FAO (2003) las pencas maduras de nopal pueden ser colectadas al final de la estación de crecimiento. Se separan de un solo corte en la base de la penca de la planta usando un cuchillo afilado, evitando hacer cortes innecesarios en la planta o en la penca para reducir el riesgo de pudriciones. El número de cladodios que pueden ser cosechados varía con el cultivar y la edad de la planta.

Para analizar el rendimiento en el cultivo de nopal, se establecieron como variables de evaluación a un primer grupo formado por: “n° de cladodios cosechados” y “peso del cladodio cosechado”; además de un segundo grupo con las variables: “eje mayor del cladodio cosechado” (EMCC), “eje menor del cladodio cosechado” (EMECC) y “Grosor del cladodio cosechado” (G). Los resultados mostraron que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ambos grupos.

La separación de rangos en la variable “n° de cladodios cosechados”, clasificó a los tratamientos en 5 categorías: en la categoría superior “a” está el tratamiento a_2b_1 con 6.1 cladodios por planta y en la categoría “d” inferior están los tratamientos a_2b_2 , a_3b_3 , a_2b_3 y a_1b_3 con 3.31, 4.15, 4.02 y 3.49 cladodios por planta respectivamente. Si se analizan convencionalmente estos resultados, se encontrará contradicción al presentarse medias superiores en categorías inferiores, esto tiene su explicación, con el análisis Kruskal Wallis, que separa las categorías de acuerdo a los rangos estadísticamente alcanzados por cada tratamiento, así, aquellos tratamientos en los que se presenta una mayor frecuencia de observaciones pertenecerán a categorías superiores, en este caso, aquel tratamiento que obtuvo un mayor número de cladodios por planta y que presentó una media mayor, pertenece a la categoría “a” (a_2b_1), en cambio un tratamiento como a_2b_3 con media superior a a_3b_1 se presentará en una categoría inferior a este último, por presentar un menor número de frecuencias estadísticas. Tratamientos cosechados más frecuentemente (cada 30 días) obtuvieron las tres mejores categorías. En los tres puestos siguientes, dentro de la categoría intermedia e inferior, están los tratamientos cosechados cada 60 días y por último con resultados dentro de la categoría inferior encontramos los tratamientos cosechados cada 90 días. La frecuencia con la que se cosecha el nopal influye significativamente sobre el rendimiento final acumulado. El nivel de vermicompost que mejor se comportó fue el tratamiento con $15 \text{ t (ha año)}^{-1}$, seguido de $10 \text{ t (ha año)}^{-1}$ y por último $20 \text{ t (ha año)}^{-1}$ (orden de las primeras tres categorías). El nopal se ve beneficiado por pH alcalino (Ríos & Quintana, 2004). Un pH óptimo fue verificado en ambos años con el nivel a_2 (Cuadros 9 y 11). Para el nivel a_1 , se verificó que en 2010 el pH fue óptimo y en 2011 fue bajo. En el nivel a_3 el pH fue bajo en ambos años, este resultado es coherente y justifica el comportamiento (Figura 5, 6; Cuadro 23). García *et al.*, (2000) menciona que al cabo de 4 meses post aplicación de bioabono (0, 15, 30, 45 y 60 t ha^{-1}) se observó un incremento de 13% en el número de cladodios por planta en todos los tratamientos que recibieron bioabono (mezcla guano y tuna) respecto del testigo. Este incremento no fue significativo estadísticamente, sin embargo hay consistencia en la respuesta, ya que todos los tratamientos con bioabono superaron al testigo. Dentro de la presente investigación sí se encontraron diferencias estadísticas significativas, pero con un período de evaluación empleado superior (2009-2011).

La variable “peso del cladodio cosechado” representa la clasificación de los 9 tratamientos, de acuerdo al mayor peso promedio alcanzado, separado estadísticamente uno del otro. El análisis clasificó a los tratamientos en 6 categorías: en la categoría “a” superior están los tratamientos a_3b_3 y a_1b_3 con 57.21 y 54.64 g respectivamente y en la categoría “d” inferior clasificaron los tratamientos a_2b_1 y a_3b_1 con 47.58 y 45.03 g respectivamente (Figura 5 y Cuadro 23). El nopal se cosecha normalmente cuando presenta un “eje mayor de cladodio” de 10 a 15 centímetros. Si la venta es por peso, se buscan nopales de mayor tamaño. Sin embargo al crecer el producto se vuelve más fibroso y correoso, perdiendo su gran atributo de calidad, lo tierno del nopal (Ríos & Quintana, 2004). Aquellos tratamientos que influyeron sobre un mayor peso y sobre los componentes del mismo, presentaron cladodios con EMCC superiores a 15 cm (Figura 6).

Cuadro 23. Resultado de las variables de rendimiento en el cultivo de nopal, UNA, 2009-2011

Grupo	Variabes	Análisis estadístico	Categorías estadísticas
1	N° de cladodios cosechados	Kruskal Wallis (95% de confianza)	“a” → a ₂ b ₁ “b” → a ₁ b ₁ “c” → a ₃ b ₁ “cd” → a ₃ b ₂ y a ₁ b ₂ “d” → a ₂ b ₂ , a ₃ b ₃ , a ₂ b ₃ y a ₁ b ₃
	Peso del cladodio cosechado		“a” → a ₃ b ₃ y a ₁ b ₃ “ab” → a ₂ b ₃ y a ₂ b ₂ “abc” → a ₁ b ₂ “bcd” → a ₃ b ₂ “cd” → a ₁ b ₁ “d” → a ₂ b ₁ y a ₃ b ₁
2	Eje mayor del cladodio cosechado (EMCC) Eje menor del cladodio cosechado (EMECC) Grosor del cladodio cosechado (G)	ANAVAM (Separación de medias según Hotelling al 95% de confianza)	“a” → a ₃ b ₁ “b” → a ₁ b ₃ y a ₃ b ₃ “c” → a ₁ b ₁ , a ₃ b ₂ y a ₂ b ₁ “d” → a ₁ b ₂ , a ₂ b ₂ y a ₂ b ₃

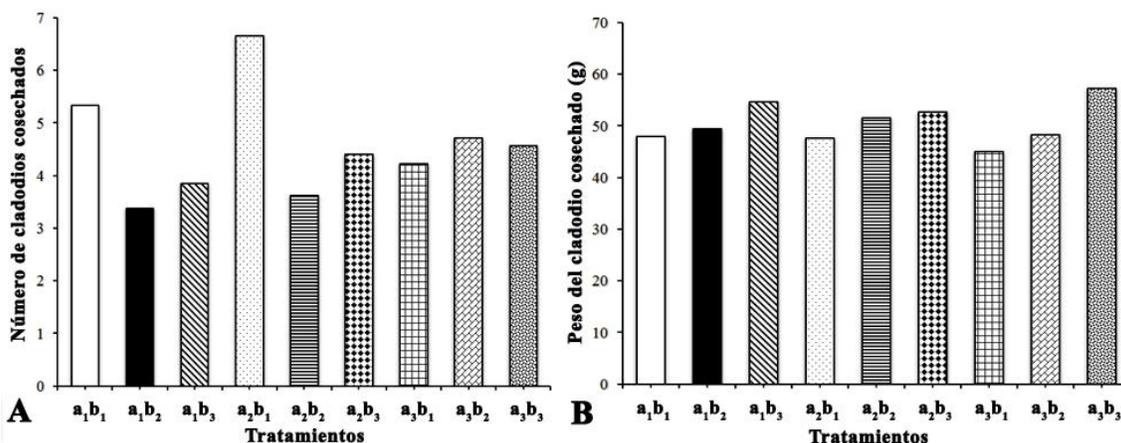


Figura 5. Variables del rendimiento en el cultivo de nopal; A: “n° de cladodios cosechados”; B: “peso del cladodio cosechado”, Managua, 2009-2011.

Los tratamientos cosechados tardíamente (cada 90 días) obtuvieron las tres mejores categorías, con pesos superiores. En los tres puestos siguientes, dentro de las categorías intermedias, están los tratamientos cosechados cada 60 días y por último con resultados dentro de la categoría inferior encontramos los tratamientos cosechados cada 30 días. La frecuencia con la que se cosecha el nopal influye significativamente sobre el peso acumulado en cada cladodio. Un mayor tiempo de espera para cosechar en el cultivo de nopal, repercute en una acumulación mayor de materia seca en el mismo. Los tratamientos con un mayor “número de cladodios cosechados” se ubican dentro de las categorías inferiores para el “peso del cladodio cosechado” y viceversa. Con un menor número de cladodios por planta es más probable obtener cladodios más pesados, porque los nutrientes que absorbe la misma son distribuidos en un menor número de unidades. Según FAO (2003), el nopal soporta podas fuertes y continuas. La poda puede ser efectuada en cualquier época. La planta puede ser mantenida en estado juvenil por tiempo indefinido con poda continua, esta práctica es básica en la utilización de nopal como verdura (Cuadro 23).

Los resultados para el segundo grupo de variables analizadas, muestran que con los resultados del ANAVAM, los vectores de las medias de los diferentes tratamientos, no son iguales entre sí, es decir, las respuestas para las variables son diferentes por efecto de los tratamientos en estudio. Este análisis clasificó en la categoría “a” superior al tratamiento a_3b_1 , y en la categoría “d” inferior a los tratamientos a_1b_2 , a_2b_2 y a_2b_3 . El nivel de vermicompost que predominó en las primeras tres categorías fue el de $20 \text{ t (ha año)}^{-1}$ y en las últimas tres el nivel de $15 \text{ t (ha año)}^{-1}$. El nivel de $20 \text{ t (ha año)}^{-1}$ presentó un menor número de cladodios cosechados, un mayor peso y un puesto superior en los componentes que definen al peso (EMCC y EMECC). Un mejor resultado en las variables EMCC, EMECC y G, permitió un mayor peso por cladodio. Pero esto ocurrió en un número de cladodios cosechados menor al observado en los otros tratamientos. El nivel de $15 \text{ t (ha año)}^{-1}$ presentó un mayor número de cladodios cosechados, un menor peso y un puesto inferior en los componentes que definen las dimensiones del cladodio (componentes del peso). Un resultado inferior en las variables EMCC, EMECC y G, influyó en un menor peso por cladodio. El nivel a_1 [$10 \text{ t (ha año)}^{-1}$] y su distribución en las diferentes categorías, se vio influenciado por la frecuencia de cosecha, un mejor resultado para las variables planteadas (componentes del peso) fue encontrado cuando se cosechó cada 90 días, un resultado inferior se observó cosechando cada 30 y 60 días. Si se utilizan 10 t de vermicompost, es más probable encontrar un mejor resultado en los componentes del peso, si se cosecha cada 90 días. EMCC y EMECC son componentes del IAF (Índice de área foliar), el incremento de los mismos repercute en un aumento del IAF, y por ende de la tasa de asimilación neta. Esta mejor tasa de asimilación neta explica por qué al aumentar estas variables incrementa el peso obtenido por cladodio (Cuadro 23). El IAF se define como el área foliar por área unitaria de terreno, por lo que las plantas al poseer un mayor índice de área foliar, manifestarán un incremento en la tasa de asimilación neta (Grajeda, 1978).

Estos resultados son de utilidad para tomar decisiones certeras en la producción agroecológica de nopal verdura utilizando vermicompost y frecuencia de cosecha controlada. La comercialización de cladodios que presenten características deseadas en sus EMCC, EMECC, G y peso del cladodio cosechado; están estrechamente relacionadas con el manejo correcto de los dos factores estudiados (vermicompost y frecuencia de cosecha).

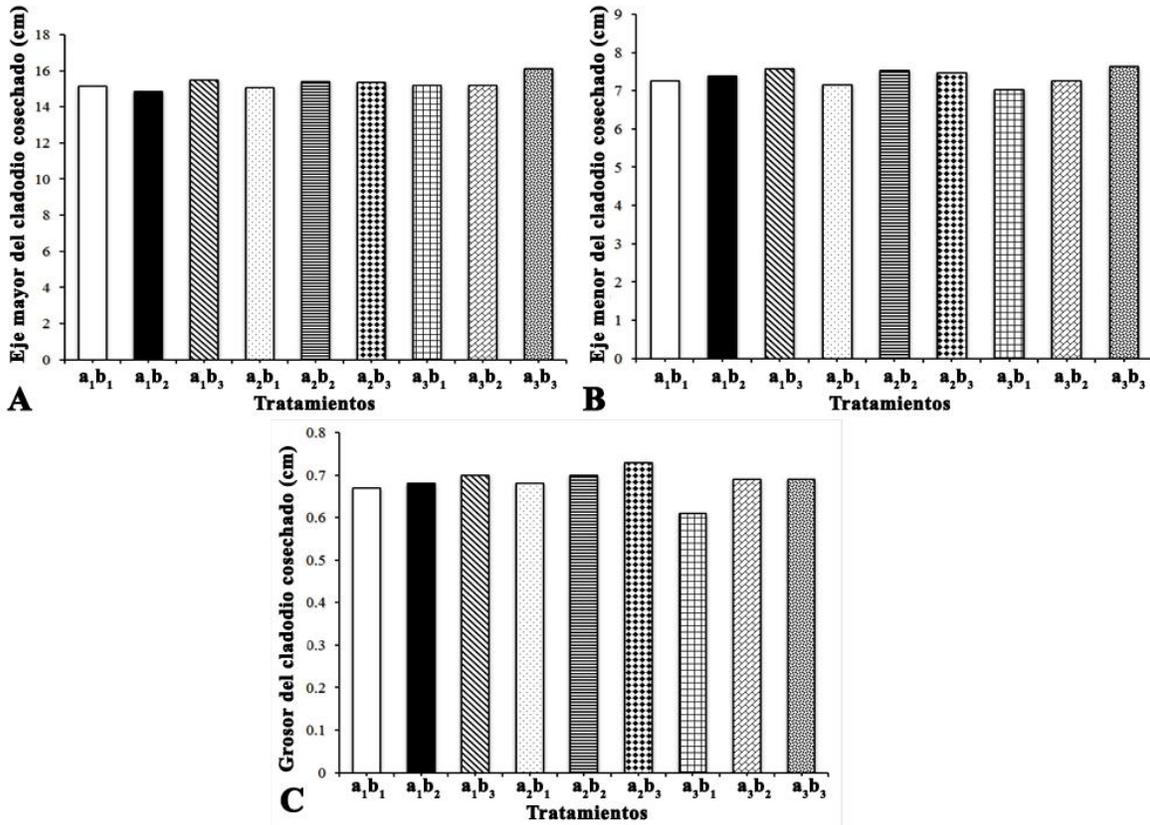


Figura 6. Variables del rendimiento en el cultivo de nopal. A: “eje mayor del cladodio cosechado”; B: “eje menor del cladodio cosechado” y C: “Grosor del cladodio cosechado” en el cultivo de nopal, Managua, 2009-2011.

4.1.5 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de piña (*Ananas comosus* L.)

La piña (*Ananas comosus* L.) es originaria de América del Sur, Brasil y norte de Paraguay. Es rica en azúcar, vitaminas A, B y C; con valor energético de 50 calorías por cada 100 gramos de pulpa. Los frutos se consumen frescos o en conserva. Existe toda una industria alrededor de la piña para elaborar diferentes tipos de conservas, jugos, vinos, licores, jalea y vinagre (MAG, 1996).

La piña como cultivo elegido para la diversificación es una respuesta estratégica a la demanda de este producto fresco dentro del mercado de los Estados Unidos. Este producto posee grandes oportunidades comerciales. Algunas zonas recomendadas para la siembra en Nicaragua son: Ticuantepe, La Meseta de los Pueblos, Carazo, Granada y Masaya (IICA, 2006).

Durante la investigación la población en el cultivo de piña sufrió reducciones drásticas, se observó que al sembrar 25 000 plantas por hectárea de piña de la variedad MD-2 finalmente sobrevivieron en promedio 9166 plantas. La principal causa de mortalidad fue la pudrición acuosa de tejidos provocada por un complejo patogénico alterno de bacterias *Erwinia sp.* y *Pseudomona sp.* Este tipo de interacción patógena ya ha sido reportada (Marcano & Bravo, 1993; Ríos, 2009). Es importante recordar que la variedad sembrada fue la MD-2, un cultivar muy susceptible a esta enfermedad y que; dependiendo del manejo nutricional, sanidad de los hijos de siembra, eficiencia de los drenajes y tipo de suelo; la mortalidad se presenta elevada a causa de dicha enfermedad (Figura 7).

La mortalidad no generó problemas para hacer las comparaciones entre tratamientos, porque se amplificó el área de parcela útil hasta un punto en el que se tuviese el tamaño justo para afirmar resultados con un 95 % de confianza, así mismo los datos fueron sometidos a técnicas de análisis no paramétrico, que prevén este tipo de situaciones.

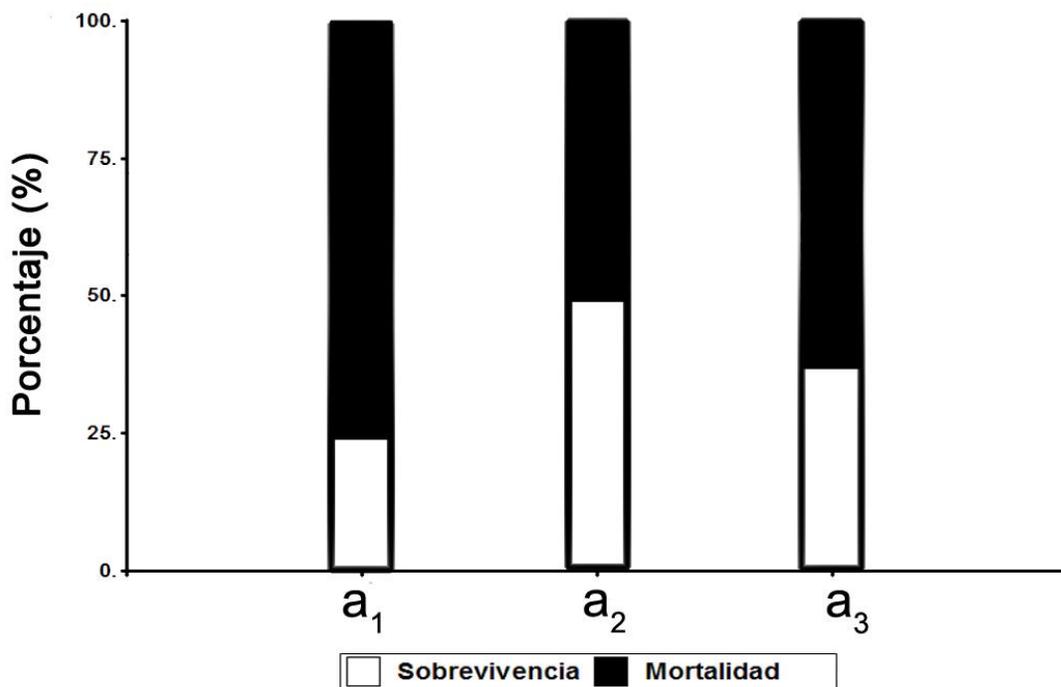


Figura 7. Comportamiento de la población en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.

En el cultivo de piña las hojas; tienen forma alargadas y ligeramente acanaladas, emergen con una disposición helicoidal, dando a la planta una forma de roseta que la adapta para la captación de agua de lluvia y de rocío. Las hojas se pueden clasificar de la siguiente manera: Un primer grupo formado por hojas completamente desarrolladas, dentro de este, se encuentran las hojas A, B y C ubicadas en la sección inferior; un segundo grupo que está constituido por las hojas D, E y F. Las hojas D son las hojas adultas más jóvenes, que han completado su desarrollo, se ubican en la parte más ancha del tallo. En medio favorable, son las más largas de la planta. Se utilizan para estimar las necesidades nutricionales de la planta y para evaluar crecimiento y desarrollo (Montilla *et al.*, 1997).

Para poder estudiar el crecimiento en el cultivo de piña se establecieron como variables de evaluación al “número de hojas”, “longitud de hoja D” y “ancho máximo de hoja D”. A todas estas variables se les aplicó un análisis de varianza no paramétrico según Kruskal Wallis y separación de rangos al 95% de confianza. Los resultados mostraron que existen diferencias estadísticas significativas para el “número de hojas” y “longitud de la hoja D”.

El “número de hojas” fue una variable que mostró 3 categorías estadísticas, distribuyendo así los 3 tratamientos, en la categoría “a” con el mayor número de hojas alcanzado se encuentra el tratamiento a_1 con 19.16 hojas, en la categoría “ab” intermedia se encuentra a_3 con 18.56 hojas y en la categoría “c” está a_2 con 18.15 hojas (Figura 8). El análisis de varianza según Kruskal Wallis, realiza una separación basado en los rangos asignados a las observaciones dentro de cada tratamiento, haciendo una comparación de a pares entre las medias de los rangos de los tratamientos. La categoría superior pertenecerá a aquel tratamiento que resulte con una suma de rangos superior. Un mayor número de hojas fue encontrado en el tratamiento a_1 , donde el nivel de nitrógeno fue de óptimo-alto (Cuadros 12 y 14) a diferencia de a_2 y a_3 que fue de óptimo a bajo. Py (1969), menciona que las carencias de nitrógeno en la planta de piña, provocan clorosis del follaje que frecuentemente empieza por las hojas más viejas, además la planta se observa claramente raquílica y el crecimiento en general es muy lento. El tener niveles óptimos y altos de nitrógeno en a_1 permitió un mayor número de hojas en plantas con este tratamiento, sin embargo no obtuvo hojas “D” con longitudes superiores.

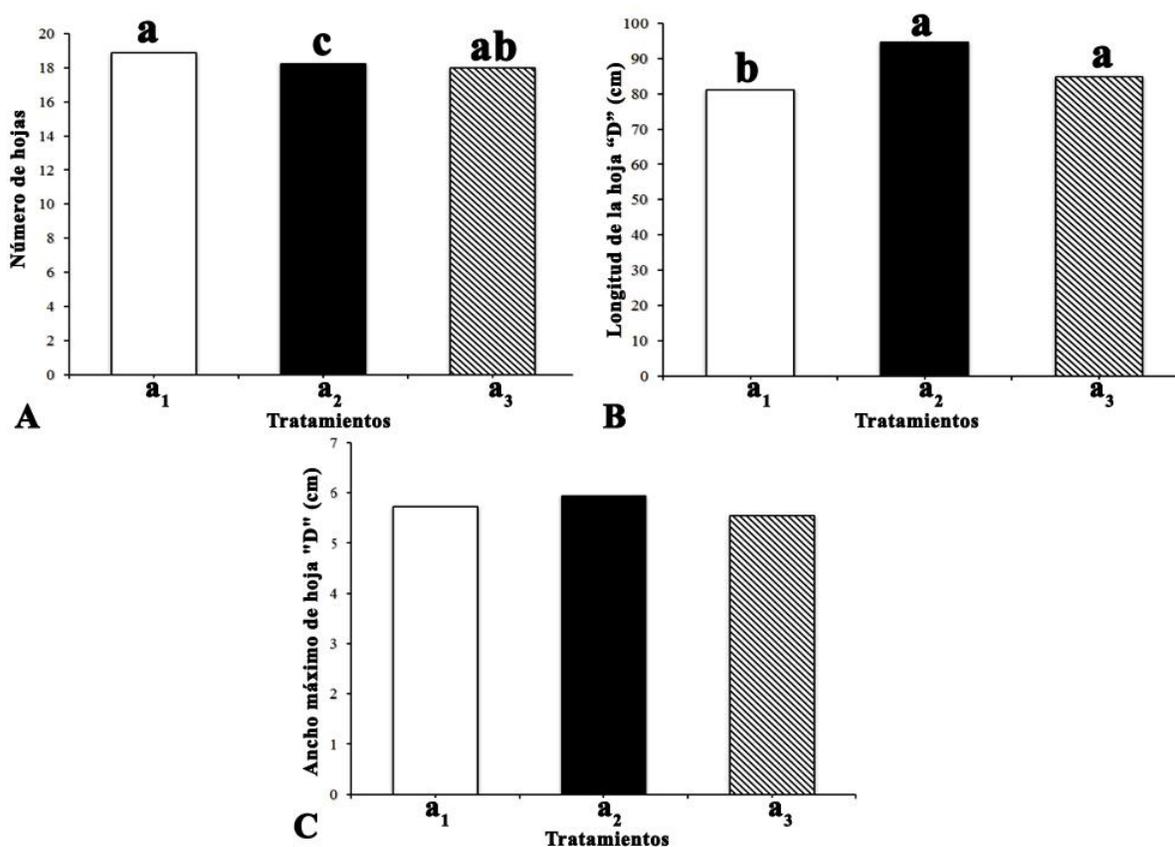


Figura 8. Comportamiento de las variables del crecimiento en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011. A: Número de hojas; B: Longitud de la hoja “D”; C: Ancho máximo de la hoja “D”.

Jiménez (1996), menciona que las plantas de piña normalmente producen de 30 a 40 hojas, lo que es superior a lo obtenido en esta investigación, sin embargo, Jiménez obtiene esos datos de plantas completamente adultas, los momentos que se eligieron para medir el “número de hojas” entre 2009-2010 fueron en estados iniciales e intermedios de desarrollo para el cultivo de piña, lo que explica el valor obtenido.

La variable “longitud de hoja D” mostró 2 categorías estadísticas distribuyendo así los 3 tratamientos, en la categoría “a” con el mayor largo de hoja alcanzado se encuentran los tratamientos a_2 y a_3 con 94.61 y 84.88 cm respectivamente, luego en la categoría “b” inferior, se encuentra a_1 con 81.16 cm (Figura 8). Según Py (1969) la hoja “D” de la planta de piña es la hoja adulta más joven, representa su estado fisiológico durante el período en que su crecimiento ha sido más activo y es útil para estimar las necesidades nutricionales y dar seguimiento al crecimiento y desarrollo de las plantas. He aquí la importancia de su estudio. Rodríguez (2010) en una investigación llevada a cabo en Costa Rica, sometió a evaluación la variedad MD-2 bajo técnicas orgánicas, utilizando tres fuentes de nitrógeno de origen orgánico; Harina de Pescado, Harina de Sangre y Terrafert®, para tratar de encontrar efecto sobre la cantidad de hojas/planta, la longitud de la hoja D y el ancho de la hoja D. En ninguna de ellas Rodríguez encontró diferencias estadísticas significativas. A diferencia de los resultados publicados por dicho autor, con esta investigación se reportan diferencias estadísticas significativas para “número de hojas” y “longitud de hoja” al utilizar vermicompost. La longitud de hoja se observó, con mayor magnitud en tratamientos a_2 y a_3 . Esto es debido a que niveles óptimos nutricionales en el suelo propician desarrollo vegetativo adecuado. El indicador de un mayor tamaño de hoja D representa mayor ventaja en el crecimiento, que un mayor número de hojas, si se desea obtener un mejor rendimiento. Mejores rendimientos en “peso de fruto” fueron observados donde se encontró una mayor “longitud de hoja D” (tratamientos a_2 y a_3) y no en el tratamiento a_1 donde se observó un mayor número de hojas (Cuadro 14 y Figura 8).

Con el “ancho máximo de hoja D” no se encontraron diferencias estadísticas significativas; esta variable es una característica fenotípica de la variedad MD-2 que no se ve influenciada por la fertilización utilizando vermicompost (Figura 8).

La cosecha en el cultivo de piña se efectúa empuñando firmemente la corona con una mano y recortando el fruto sobre la planta. Esto separa el pedúnculo a ras del fruto. Luego se sujeta fuertemente para arrancarlo, obteniendo un corte limpio (IICA, 1983).

Para poder estudiar el rendimiento en el cultivo de piña se establecieron como variables de evaluación a: un primer grupo formado por “longitud de fruto”, “peso de fruto” y “peso total del fruto”; luego un segundo grupo formado por: “longitud de la corona”, “peso de corona” y “grados brix”.

Al analizar estadísticamente al primer grupo los resultados mostraron que existen diferencias estadísticas significativas, el análisis del segundo grupo expresa no significancia para ninguna variable. En el primer grupo, en dos de las variables (peso de fruto y peso total de fruto) se encontraron las mismas categorías. Se describe la siguiente clasificación: para los tres análisis; en la categoría “a” el tratamiento a₂ y en la categoría “b” el tratamiento a₁. El tratamiento a₃ formó parte de la categoría “a” para el peso de fruto y peso total del fruto, pero para la variable “longitud de fruto” se mostró en una categoría intermedia “ab”. Peña *et al.*, (1996), afirma que la planta de piña utiliza grandes cantidades de nutrientes, principalmente de N y K; Molina (2002), afirma que el calcio, magnesio, hierro y zinc son de gran importancia para el cultivo, por tanto deben ser tomados en cuenta al momento de fertilizar el suelo. El vermicompost, no solo proporciona N y K potasio, sino también estos elementos necesarios para el cultivo de piña (Cuadro 24, Figura 9, Anexo 13).

El N y la materia orgánica así como otros elementos se comportaron de manera óptima para el cultivo de piña en los tratamientos a₂ y a₃, siendo estos los que obtuvieron los mejores resultados. En cambio el tratamiento a₁ presentó niveles bajos y altos, para materia orgánica y nitrógeno. Hubo particularmente un nivel de calcio inferior a los encontrados en a₂ y a₃ para el 2011. En piña se encontró un mayor peso (1 400-1 500 g) en el fruto, con tratamientos a₂ y a₃, cuando el nivel de calcio se comportó óptimo. Peña *et al.* (1996), menciona que el utilizar técnicas de fertilización en el cultivo de piña genera influencias sobre el desarrollo de la planta, el rendimiento y la calidad de los frutos (Figura 9, Cuadros 12, 14 y 24).

En las variables del segundo grupo no se encontró diferencias estadísticas significativas porque la “longitud de la corona”, “peso de corona” y “grados brix”; son características propias de la variedad MD-2 y no se vieron influenciadas por las aplicaciones de vermicompost. Según Pac (2005) la corona de esta variedad se desarrolla mientras se forma el fruto, entra en estado de letargo cuando aquél está ya maduro. Si esta se utiliza como material vegetativo para la propagación se considera de primera: con un peso de 300- 350 g; de segunda: con un peso de 250- 299 g y de tercera: con un peso de 200- 249 g. Agrega que la piña para corte debe tener entre 12 a 14 grados brix. En esta investigación se observaron pesos de corona entre 200-300 g y los grados brix se comportaron entre 16.5-17 %, datos superiores a las concentraciones de azúcares ya reportados (Figura 10; Cuadro 24).

El número de “frutos cosechados” por tratamiento fue afectado directamente por la mortalidad presente en el cultivo de piña. En la figura 11 un número menor de frutos fue cosechado en el tratamiento a₁, esto ocurrió porque la mortalidad fue mucho más severa en este tratamiento. La causa de muerte común en cultivos de piña es la actividad de dos microorganismos patógenos: *Pseudomonas sp.*, y *Erwinia sp.*, (Ríos, 2009). El comportamiento de las poblaciones de estos indica un mayor número de colonias de *Pseudomonas sp.*, en el 2010 para el tratamiento a₁ y un ataque severo de *Erwinia sp.*, para el tratamiento a₃ en ese mismo año. En el tratamiento a₂ hubo una afectación alta de colonias de *Erwinia sp.*, para el año 2011; su actividad tardía permitió con este tratamiento obtener un mayor número de frutos de piña (Figura 11 y Cuadro 18).

Los resultados encontrados con las variables de crecimiento y rendimiento en el cultivo de piña utilizando la práctica agroecológica de aplicaciones de vermicompost permitieron comprobar que si se utiliza $15 \text{ t (ha año)}^{-1}$ se obtienen los mejores resultados. Luego del análisis en el rendimiento se confirmó que ninguno de los resultados obtenidos por la variedad MD-2 con cualquiera de las dosis de vermicompost se consideró aceptable. El vermicompost se convierte en un medio de propagación para los agentes causales de bacteriosis (*Pseudomonas sp.* y *Erwinia sp.*) elevando la mortalidad a niveles que generan daño económico. No se recomienda el uso masivo de este bioabono en el cultivo de variedades de piña susceptibles a bacteriosis.

Cuadro 24. Resultado de las variables de rendimiento en el cultivo de piña, UNA, 2009-2011

Grupo	Variabes	Análisis estadístico	Categorías estadísticas
1	Longitud de fruto	ANDEVA Separación de medias según Tukey (95% de confianza)	“a” → a ₂ “ab” → a ₃ “b” → a ₁
	Peso de fruto		“a” → a ₂ y a ₃ “b” → a ₁
	Peso total del fruto		
2	Longitud de la corona Peso de corona Grados brix	Kruskal Wallis (95% de confianza)	NS

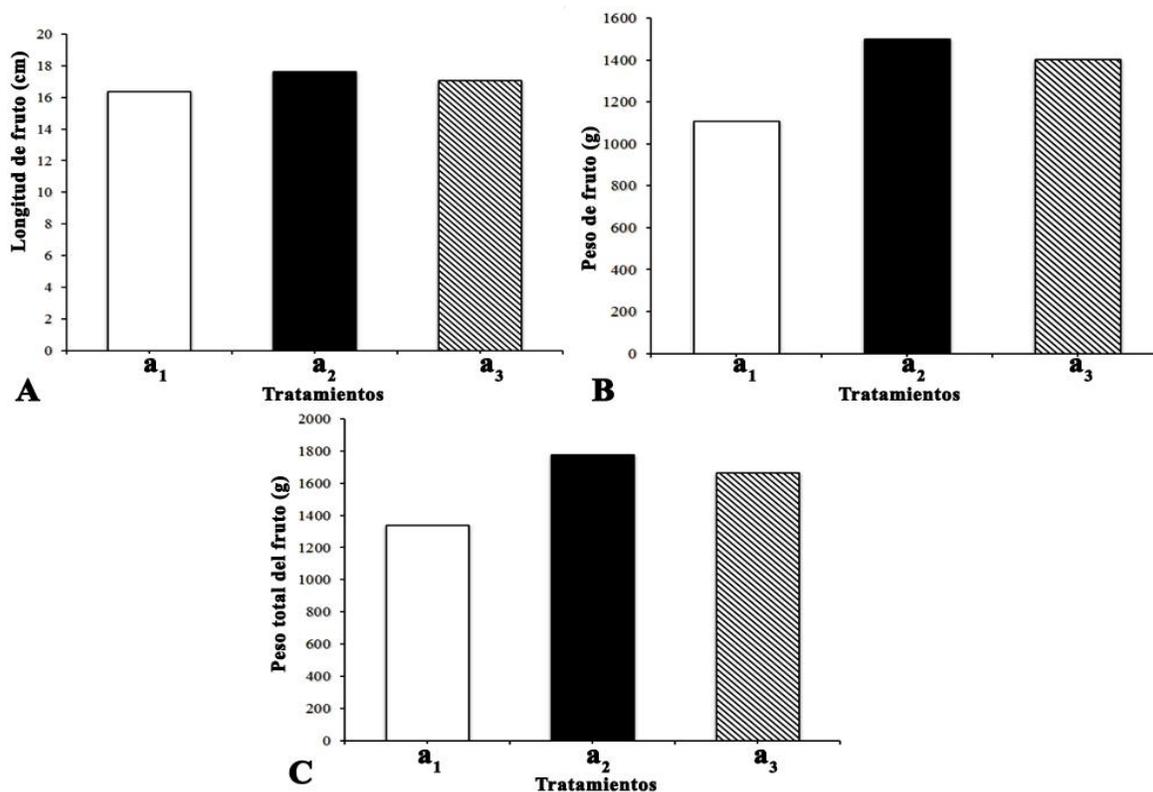


Figura 9. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “longitud de fruto”; B: “peso de fruto” y C: “peso total del fruto” en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.

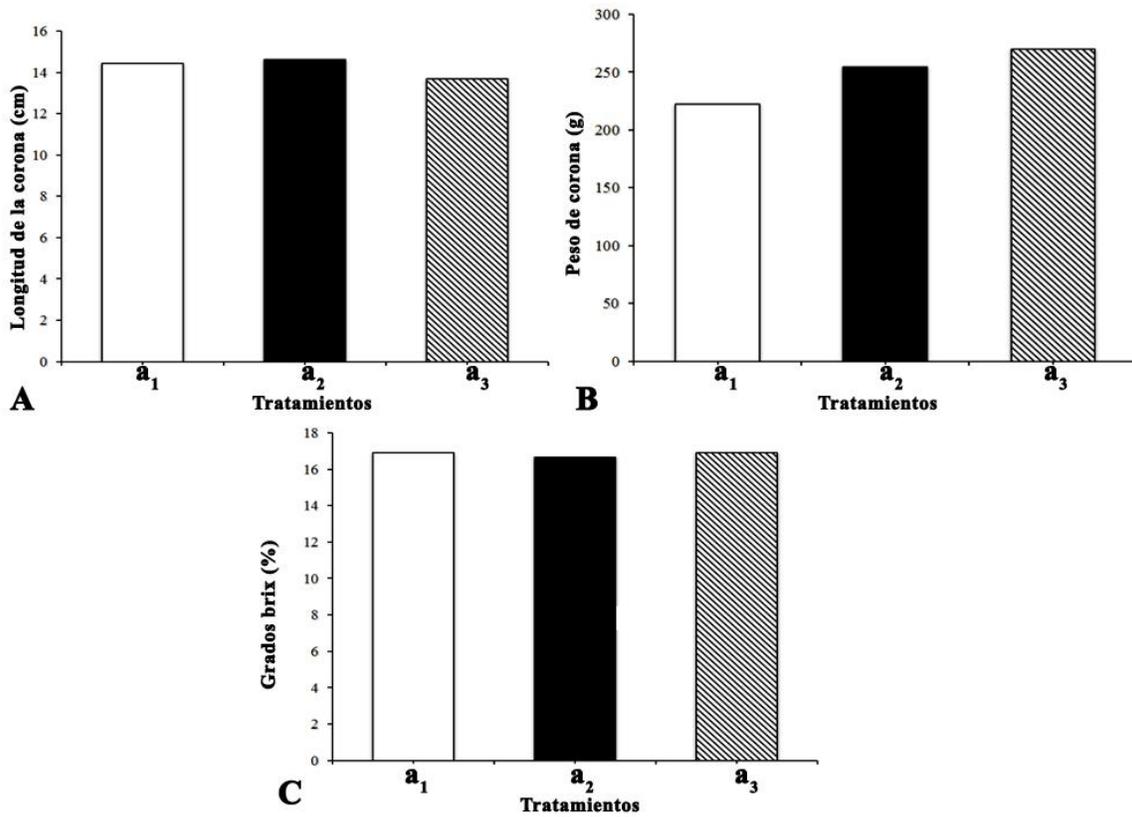


Figura 10. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “longitud de la corona”, B: “peso de corona” y C: “grados brix” en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.

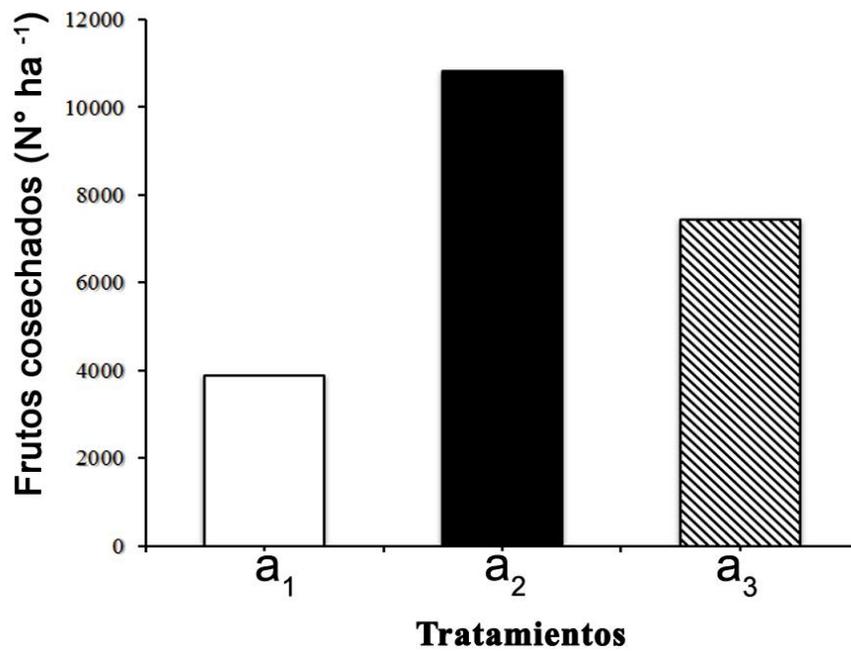


Figura 11. Comportamiento del rendimiento “frutos cosechados” en el cultivo de piña, Managua, 2009-2011.

4.1.6 Influencia del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.)

La papaya (*Carica papaya* L.) es originaria de las zonas tropicales de México y Centroamérica. Este fruto por su alto valor nutritivo y propiedades medicinales posee características que han contribuido a incrementar su cultivo. La papaya se consume principalmente como fruta fresca, además se usa para preparar refrescos, jugos encurtidos, mermelada, fruta en almibar o cristalizada. También produce latex que se extrae de los frutos verdes y tallo. La papaya es una planta herbácea de crecimiento relativamente rápido y de vida corta. Tiene un tallo hueco, segmentado y erecto, presenta un gran número de hojas grandes y lobuladas. La altura de la planta puede llegar a varios metros (OIRSA, 2002).

El sector frutícola se muestra relativamente estable; Nicaragua se dedica a exportar la fruta fresca teniendo como principal destino los países centroamericanos, siendo El Salvador y Costa Rica donde frutas como la papaya han experimentado un crecimiento en sus importaciones. Nicaragua posee amplias zonas con condiciones agroecológicas para desarrollar el cultivo de diferentes variedades de frutas, la infraestructura, las deficiencias a nivel tecnológico y acceso financiero limitan esta posibilidad (CEI, 2010).

El comportamiento de la población de plantas de papaya durante dos años de investigación mostró estabilidad. La población inicial fue de 2 500 plantas por hectárea y se mantuvo así hasta final de ciclo. Esta especie se desarrolló correctamente a lo largo del ensayo, al final del mismo varias plantas presentaban síntomas de virosis; en 2011; cuando las plantas ya habían cumplido dos años de vida y el período de toma de datos había finalizado.

Para estudiar el crecimiento en el cultivo de papaya se establecieron como variables de evaluación a un primero grupo formado por: “diámetro superior del tallo”, “diámetro inferior del tallo”, “longitud del tallo” y “número de hojas”; un segundo grupo: “número de hojas vivas” y “número de hojas muertas” así como un tercer grupo: “Altura de inserción de primera flor” y “Altura de inserción de primer fruto”. Los tres grupos mostraron que existen diferencias estadísticas significativas (Figuras 12, 13 y 14).

Al interpretar, según Pedroza & Dicovskyi (2006), los resultados para el primer y segundo grupo de variables se asevera que con el ANAVAM y su prueba Lambda de Wilks, se rechaza la hipótesis nula para el factor vermicompost, dado por el valor de significancia obtenido; un p-valor <0.0001; según α : 0.05. Las respuestas para las variables son diferentes por efecto de los tratamientos en estudio. Para el cultivo de papaya, representado por las variables proyectadas en la figura 12 y 13, el tratamiento con el mejor crecimiento multivariado fue el tratamiento a_3 (20 t), ubicado en la categoría “a” (superior) dentro de ambos grupos. En la categoría “b” se encuentra el tratamiento a_2 también para ambos grupos. El tratamiento a_1 se ubicó en la categoría “b” para el primer grupo y en “ab”, categoría intermedia, con el segundo grupo superando por poco al tratamiento a_2 . El nitrógeno juega un papel muy importante en el crecimiento de toda especie vegetal, después del agua, es el factor limitante en el crecimiento (González *et al.*, 2003). Para la especie *Carica papaya* L., este elemento hizo la diferencia dentro de los tratamientos (Cuadro13), es notable un nivel óptimo del N (Cuadro 15) durante 2010 y 2011, para los tratamientos a_2 y a_3 ; dichos tratamientos presentan las medias más altas. El tratamiento a_1 presenta un nivel bajo de nitrógeno en ambos años lo que explica su posición dentro de la categoría “b” para el primer grupo. Para las variables del

segundo grupo este tratamiento supera a a₂; pero la explicación de este fenómeno se encuentra en la naturaleza de las variables que conforman dicho grupo.

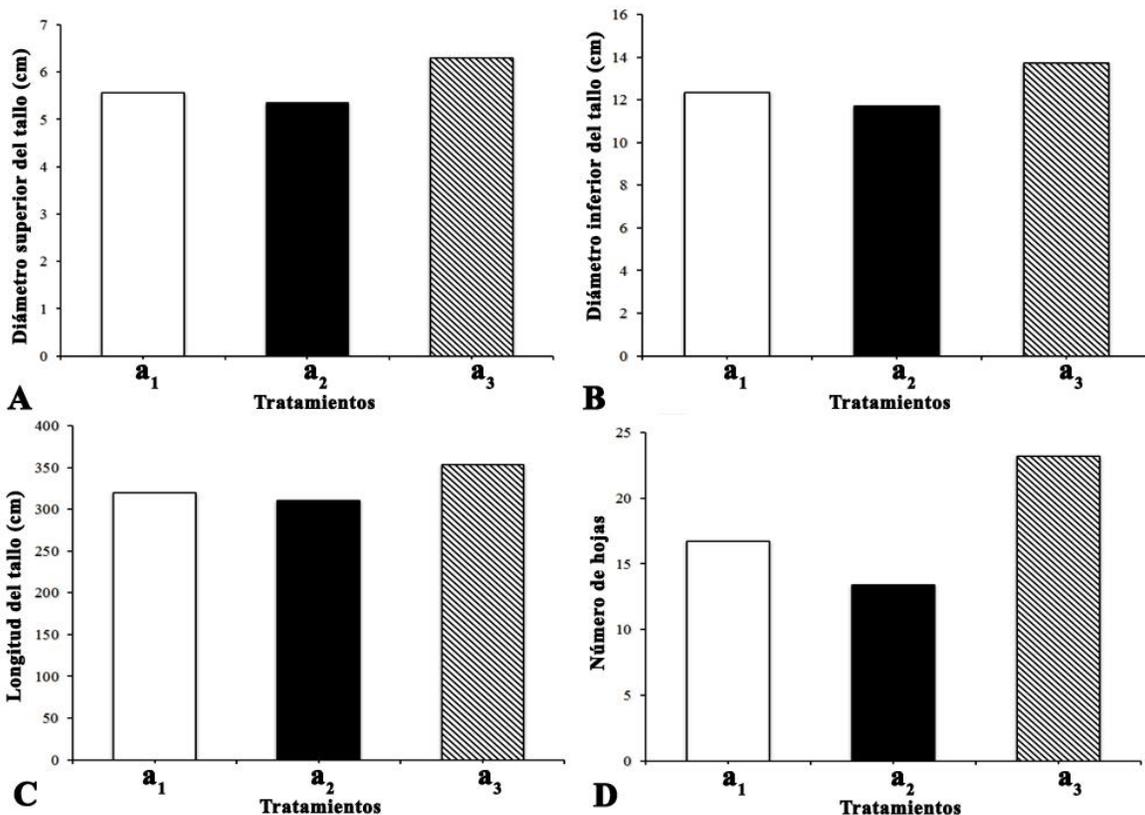


Figura 12. Comportamiento de las variables del crecimiento; A: “diámetro superior del tallo”, B: “diámetro inferior del tallo”, C: “longitud del tallo” y D: “número de hojas” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.

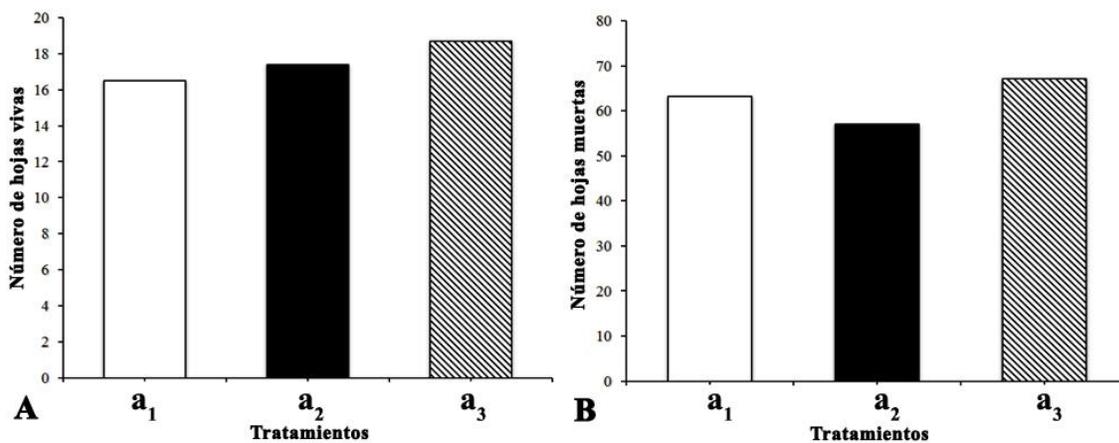


Figura 13. Comportamiento de las variables del crecimiento; A: “número de hojas vivas” y B: “número de hojas muertas” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.

Las variables del segundo grupo son: “n° de hojas vivas” y “n° de hojas muertas”. Observando los resultados notamos que el tratamiento a₁ supera al tratamiento a₂ solo en un número mayor de hojas muertas, lo que no se podría considerar como un logro positivo sino al contrario. El vermicompost según IICA-COFUPRO (2010), aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo, amortigua los cambios bruscos de temperaturas en el mismo y mantiene un buen nivel de fertilidad. Hidalgo *et al.*, (2006) plantea que al evaluar el efecto de las distintas condiciones estresantes (plagas, enfermedades, factores ambientales, humedad, manejo, etc), de común ocurrencia en los sistemas de producción agrícolas, se manifiestan disminuciones de área foliar por daño directo sobre las hojas o inducción de senescencia precoz de las mismas. Ribas *et al.*, (2000), aclara que es evidente, que bajo estrés hídrico, los rendimientos también se reducen, como consecuencia de la pérdida de área foliar. Las especies como papaya y otras cuyo porcentaje de humedad en sus tejidos es alto, cuando en el suelo la humedad presente es menor a la necesaria, la planta sufre de estrés hídrico, que repercute en la incapacidad de mantener vivas un mayor número de hojas y a consecuencia una senescencia de hojas es inevitable, así la planta evita un colapso producto del desbalance hídrico. En cambio cuando se tiene una mejor nutrición y mejor retención de humedad, como es el caso indiscutible para el tratamiento a₃, se puede mantener un mayor número de hojas vivas y un número más alto de hojas muertas, no a causa de deficiencia hídrica o nutricional sino a causa de una mayor producción de frutos (Figura 13) y mayor elongación del tallo. Para presentarse un tallo de mayor magnitud y un mejor rendimiento, se requiere de más energía, dicha energía solo puede ser obtenida a través de la fotosíntesis, llevada a cabo en un mayor número de hojas, acumuladas durante el transcurso del ciclo vital para plantas de papaya.

Con respecto a las variables del tercer grupo, donde también se encontraron diferencias significativas a través de la separación de rango según Kruskal Wallis, se puede afirmar que tanto en la variable “Altura de inserción de primera flor” como en “Altura de inserción de primer fruto” las categorías son exactamente las mismas y los tratamientos se clasifican en orden exactamente igual. Para ambas variables los resultados clasifican en dos categorías estadísticas: dentro de “a” el tratamiento a₃ y dentro de “b” los tratamientos a₁ y a₂. La similitud del comportamiento en ambas variables es fácil de apreciar en la figura 14. Las razones que justifican los resultados obtenidos para este tercer grupo, donde a₃ es mejor que a₂ y a₁; son los mismos argumentos ya explicados para el primer y segundo grupo de variables de crecimiento.

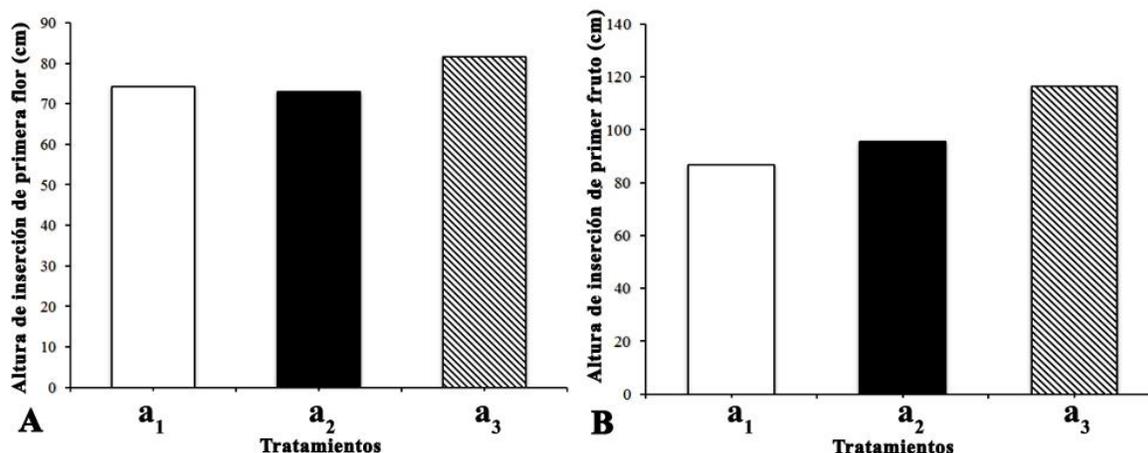


Figura 14. Comportamiento de las variables del crecimiento; A: “Altura de inserción de primera flor” y B: “Altura de inserción de primer fruto” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.

La calidad es el resultado de una fruta bien formada, buen color y textura de pulpa y sabor dulce agradable. Una fruta de calidad es aceptable en cualquier mercado selectivo o masivo. La fruta es sensible a quemaduras de sol, al maltrato al corte y debe ser separada de la planta con sumo cuidado, utilizando guantes de plástico y cortándola con una ligera torsión (OIRSA, 2002).

Para evaluar el rendimiento de frutas con calidad en el cultivo de papaya se establecieron como variables: “número de frutos cosechados”, “Eje menor de papaya”, “Eje mayor de papaya” y “peso de frutos cosechados”.

A las cuatro variables se le aplicó un análisis de varianza no paramétrico según Kruskal Wallis y separación de rangos al 95% de confianza. Los resultados mostraron que existen diferencias estadísticas significativas para las variables “número de frutos cosechados” y “Eje menor de papaya”. En el número de frutos cosechados, se pudo separar a los tratamientos de la siguiente forma: en la categoría “a” con 2.22 y 2.18 frutos por corte, por planta; se ubican los tratamiento a₃ y a₂ respectivamente, luego en la categoría “b” el tratamiento a₁ con 1.51 frutos por corte, por planta. En el cuadro 13, es notable encontrar un nivel menor a 0.14 % de N considerado “bajo” en el tratamiento a₁ (Cuadro 15), tanto para el 2010 como para el 2011; lo mismo ocurre con materia orgánica. En cambio para los tratamientos a₂ y a₃ los niveles de N son óptimos y la materia orgánica se comporta de óptimo a alto (Figura 15). Los niveles óptimos de N y materia orgánica en tratamientos a₂ y a₃ permitieron obtener los mejores rendimientos. La influencia de la materia orgánica sobre el rendimiento alcanzado es positiva para papaya, se ha indicado que las aplicaciones de la misma, mejoran las propiedades físicas del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes (Vieira, 1995).

El eje menor de papaya, separa a los tratamientos de la siguiente forma: en la categoría “a” con 12.2 cm; se ubica el tratamiento a_1 , en la categoría intermedia “ab” el tratamiento a_2 con 11.72 cm y en la categoría “b” el tratamiento a_3 con 11.48 cm. El uso de tratamientos de 15-20 t de vermicompost, influyó significativamente sobre el número de frutos por planta y en aquellas plantas donde se observó un mayor número frutos (tratamientos a_3 y a_2), el eje menor de papaya, se presenta en magnitudes menores. Con plantas que presenten un menor número de frutos (tratamiento a_1), el “eje menor de papaya” obtiene magnitudes superiores. Un número menor de frutos permite una acumulación progresiva de peso por fruta. Con respecto a la variable “peso de frutos cosechados”; los tratamientos se comportaron así, en promedio por fruta, para a_1 1 390.79 g, en a_2 1 192.27 g, y para a_3 1 244.27 g por fruta respectivamente. Nótese que el tratamiento a_1 , donde se observó un “eje menor de papaya” con magnitudes superiores se acumuló más peso, aunque este último no fue estadísticamente significativo. Plantas de papaya, con un menor número de frutos, al aumentar la magnitud del “eje menor de papaya”, presentan mejor capacidad para utilizar los nutrientes, en la acumulación de mayor peso específico por cada fruta formada. Las frutas cosechadas en esta investigación se encuentran dentro del rango de 1000 a 1500 g; según Giacometti (1987) el tamaño preferido por consumidores en Asia y Latinoamérica es de 1500 g mientras que para la exportación es de alrededor de 500 g (Figura 15 y 16).

Los resultados determinan que para obtener un mayor número de frutos en el cultivo de papaya Hawaiana se deben aplicar cantidades iguales o superiores a 15 t (ha año)⁻¹ de vermicompost. Si la finalidad de la producción es obtener frutos con “eje menor de papaya” superior y un mayor peso por fruto es necesario hacer una selección de frutos hasta dejar un promedio de 1.5 frutos (corte planta)⁻¹ para un total de 3800 frutos ha⁻¹ aproximadamente. Pero esta decisión depende de las demandas del mercado y la disposición a pagar de los consumidores.

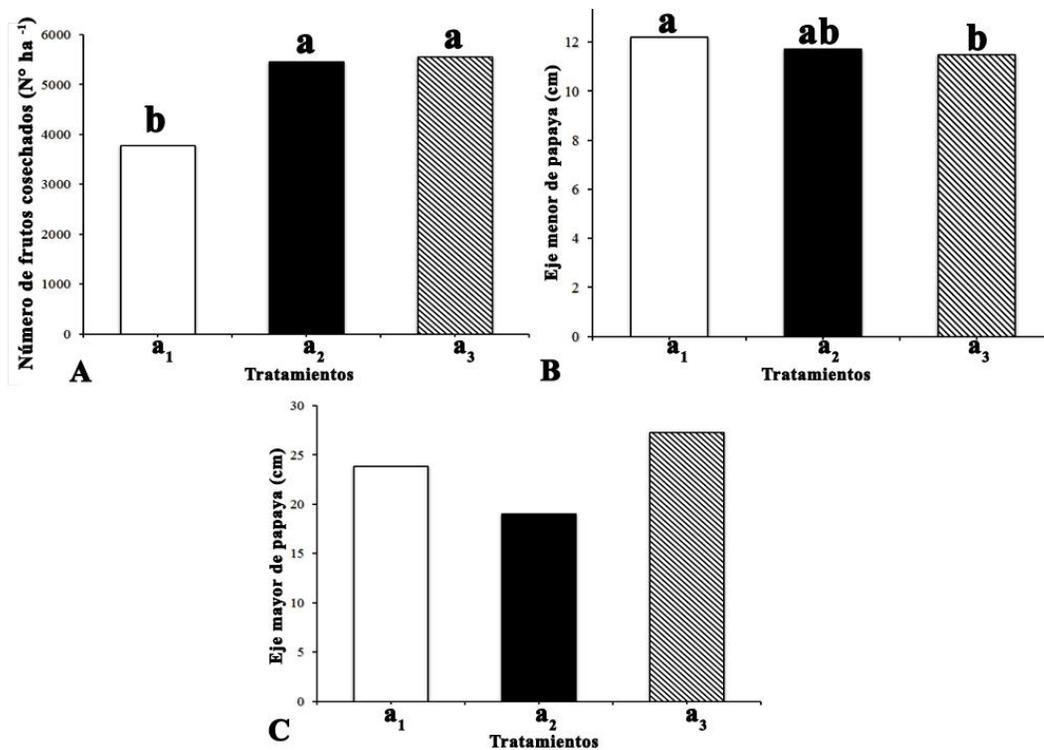


Figura 15. Comportamiento de las variables del rendimiento; A: “número de frutos cosechados”, B: “Eje menor de papaya” y C: “Eje mayor de papaya” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.

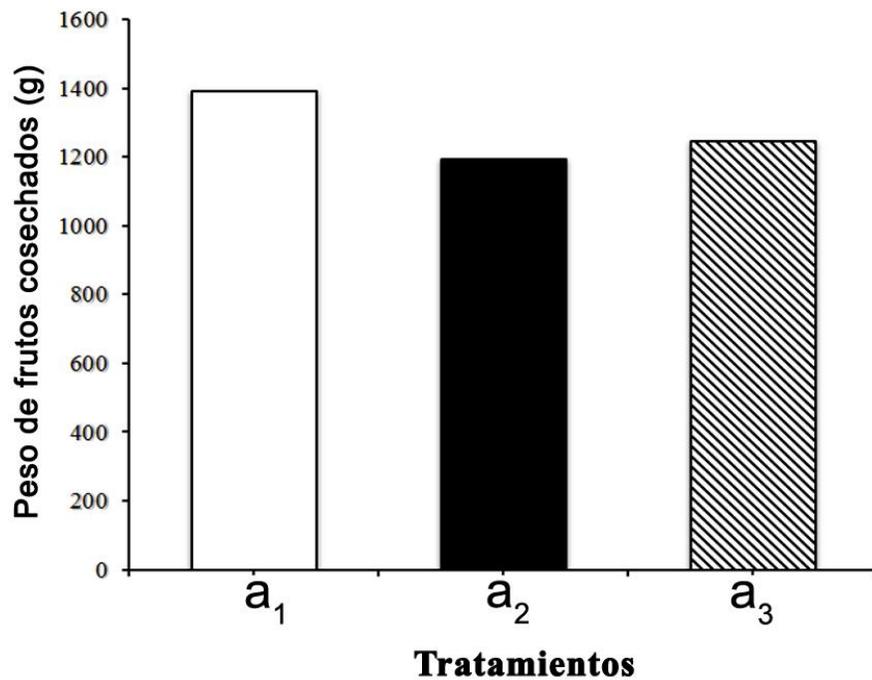


Figura 16. Comportamiento de las variables del rendimiento; “peso de frutos cosechados” en el cultivo de papaya, Managua, 2009-2011.

V. CONCLUSIONES

La diversificación y manejo de cultivos de guayaba, nopal, piña y papaya en un suelo calcáreo redujo la disponibilidad de P, principalmente con aplicaciones de 10 t (ha año)⁻¹ en nopal y papaya. Además, incrementó el contenido de Ca en guayaba, nopal, piña y papaya con aplicaciones entre 15-20 t (ha año)⁻¹ de vermicompost y redujo el porcentaje de arcilla por acción del Ca, con aplicaciones de vermicompost entre 10-20 t (ha año)⁻¹.

El suelo donde se diversificó con cultivos y se aplicó vermicompost es de origen calcáreo y clasificado como no salino por presentar conductividad eléctrica inferior a 4 dS/m.

Al aplicar 15 t (ha año)⁻¹ en nopal y papaya, además de hacerse una complementación nutricional con Cu hay que adicionar materia orgánica al cultivo de nopal y fósforo al cultivo de papaya; las fuentes pueden ser compost y roca fosfórica respectivamente. Con aplicaciones de 15 t (ha año)⁻¹ en el cultivo de piña se puede garantizar la nutrición necesaria para esta bromeliácea y al aplicar 20 t (ha año)⁻¹ de vermicompost en el cultivo de guayaba debe realizarse una fertilización complementaria con Cu.

En un suelo calcáreo no salino sin efecto antropogénico los microorganismos que predominan son bacterias del género *Bacillus sp.* y esporádicamente bacterias de los géneros *Pseudomona sp.* y *Sarcina sp.*

En este mismo tipo de suelo con la diversificación de cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y aplicaciones de vermicompost se incrementó la diversidad de géneros de microorganismos al concluir el estudio. El total de géneros de microorganismos fueron 13; de estos 10 (*Curvularia sp.*, *Aspergillus sp.*, *Pestalotia sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Serratia sp.*, *Erwinia sp.*, *Sporolactobacillus sp.*, *Caryophanon sp.* y *Streptomyces sp.*) son diferentes a los ya existentes antes de la influencia antropogénica; cinco hongos, cuatro bacterias y un actinomiceto.

Al diversificar cultivos (guayaba, nopal, piña y papaya) y realizar aplicaciones de vermicompost influyó sobre la presencia de hongos en el suelo. Con la aplicación de 15-20 t (ha año)⁻¹ en el cultivo de guayaba y piña se encontraron poblaciones de *Aspergillus sp.* Este hongo se observó también en el cultivo de papaya al aplicar 10 t (ha año)⁻¹; con este nivel bajo de vermicompost se encontraron también en los cultivos de guayaba, piña y papaya los hongos *Curvularia sp.*, *Aspergillus sp.*, y *Pestalotia sp.*, respectivamente. *Fusarium sp.*, y *Penicillium sp.*, se encontraron al aplicar dosis de 15 y 20 t (ha año)⁻¹ respectivamente, en el cultivo de papaya.

Con aplicaciones de 10 t (ha año)⁻¹ de vermicompost se identificaron cinco géneros de bacterias (*Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, *Pseudomona sp.*, *Erwinia sp.* y *Sporolactobacillus sp.*), con dosis 15 t (ha año)⁻¹ se presentaron seis géneros (*Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, *Pseudomona sp.*, *Serratia sp.*, *Erwinia sp.* y *Sporolactobacillus sp.*) y de igual forma con dosis 20 t (ha año)⁻¹ se encontraron cinco géneros (*Bacillus sp.*, *Sarcina sp.*, *Pseudomona sp.*, *Erwinia sp.*, y *Caryophanon sp.*). El tratamiento de 15 t (ha año)⁻¹ aumentó la presencia de microorganismos en los cultivos de guayaba, nopal y piña. Un tratamiento de 10 t (ha año)⁻¹ en el cultivo de la papaya es suficiente para promover la actividad de microorganismos en el suelo.

Las enfermedades encontradas en los cultivos causadas por un rol patogénico primario fueron ocasionadas por los agentes *Pestalotia sp.*, en guayaba, *Pseudomona sp.*, en nopal y *Erwinia sp.*, en piña.

Variables del crecimiento en el cultivo de guayaba demostraron que con un mayor número de ramas terciarias existe un 70 % de probabilidad de tener más frutos comerciales. En nopal, el tratamiento con los mejores resultados para variables del crecimiento es 15 t (ha año)⁻¹ cosechado cada 90 días. El crecimiento en el cultivo de piña, presentó resultados superiores con 10 t (ha año)⁻¹. El cultivar de papaya obtuvo los mejores resultados para las variables del crecimiento con 20 t (ha año)⁻¹.

El cultivo de guayaba obtuvo el mejor rendimiento utilizando 20 t (ha año)⁻¹. En nopal, un mayor número de cladodios cosechados es más probable aplicando 15 t (ha año)⁻¹ cosechado cada 30 días. Un mayor peso en el cladodio cosechado se obtiene al aplicar 20 t (ha año)⁻¹, cosechado cada 90 días. El cultivo de piña obtiene mayor número de frutos aplicando 15 t (ha año)⁻¹. En el cultivo de papaya un mayor número de frutos cosechados fue alcanzado con 15-20 t (ha año)⁻¹.

VI. RECOMENDACIONES

Desarrollar prácticas agroecológicas y un estudio de seguimiento que permita ajustes al diseño inicial establecido.

No cultivar piña en suelos calcáreos utilizando vermicompost, la probabilidad de contaminación de plantas con bacteriosis es superior.

Se recomienda el uso generalizado de dosis $15-20 \text{ t (ha año)}^{-1}$ de vermicompost por considerarse proporciones benéficas para la nutrición de cultivos: guayaba, nopal, piña y papaya.

Emplear metodologías que evalúen agrosistemas y proponer cambios que propicien el aumento de la eficiencia, en la producción de cultivos.

Seguir realizando trabajos sobre niveles óptimos de nutrientes para otros cultivos, utilizando vermicompost.

Definir una ecuación agroecológica alternativa a la que usa la agricultura convencional para el cálculo de dosis de nutrientes que permita factores de enmienda con biocorrectores y búsqueda de niveles óptimos agroecológicos.

VII. LITERATURA CITADA

- Altieri, M.; Anderson, M. 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the Third World. *Amer. J. Alter. Agric.* 1: 30-38.
- _____. 2001. *Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria.* Universidad de California. US. 192 p.
- _____; Nicholls, C. 2007. *Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación.* . Universidad de California, Berkeley. US. 30 p.
- AGROSÍNTESIS, 2013. La mancha negra del nopal. (en línea). Puebla, MX. Consultado 05 ago. 2013. Disponible en <http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/730-la-mancha-negra-del-nopal->
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 1995). *Official methods of analysis of AOAC International.* 16th ed. AOAC International, Arlington, VA.
- APHA (American Public Health Association). 1923. *Standard methods of water analysis,* 5th ed. American Public Health Association. Washington, D.C.
- Baraona, M.; Sancho, E. 2000. *Fruticultura general: Fruticultura I.* 2 ed. San José, CR. EUNED. 164 p.
- Barbeau, G. 1990. *Frutas Tropicales en Nicaragua.* Managua, Nicaragua. Editorial Ciencia Sociales. 397 p.
- Beriam, L.; Almeida, I.; Destéfano, S.; Grabert, E.; Balani, D.; Ferrerira, M.; Rodríguez, J. 2006. *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* in papaya seedlings. *Instituto Biológico, Caixa. BR. Summa phytopathol.* v. 32. N°1. p. 21-26.
- Blanco, M. 2010. Nopal (*Opuntia ficus indica* L.), delicioso y medicinal. *La Calera* 10(14): 71-72.
- Brady, N.; Weil, R. 2002. Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients. *9(11):* 404-410.
- Brutnell, T.; Langdale, J. 1998. Signals in leaf development. *Advances in Botanical Research* 28:161-195.
- Caja, G.; González, E.; Flores, C.; Carro, M.; Albanell, E. 2003. Alternativas a los antibióticos de uso alimentario en rumiantes: Probióticos, Enzimas y Ácidos orgánicos. XIX curso de especialización FEEDNA. Madrid. ES. 30 p.
- Casanova, E. 2005. *Introducción a la ciencia del suelo.* Caracas, VE. UCV. 487 p.

- Castro, M. 2006. Manejo poscosecha de frutas y hortalizas orgánicas. En: Memoria V Encuentro Nacional de Agricultores Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica. PITTA. 103 p.
- Catastro e Inventario de Recursos Naturales. 1971. Geología y Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua. V.II Parte 1, Características Generales, Uso y Manejo de Suelos. Managua. 273 pp.
- Carrillo, L. 2003. Microbiología agrícola. Universidad Nacional de Salta, AR. 151 p.
- Carrillo, L. 2004. Energía de biomasa. S.S. Jujuy. 82 p.
- CEI (Centro de Exportaciones e Inversiones Nicaragua, NI). 2010. Frutas exóticas y tropicales en Nicaragua. Centre for the Promotion of Imports from developing countries (CBI) 40 p.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV). 2002. Producción de guayabas taiwanesas. 14 p. (Boletín Técnico N° 5)
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV) 2010. Guía técnica del cultivo de la papaya. Programa MAG-CENTA, Frutales. Impresos múltiples. 40 p.
- Coletto, J. 1994. Crecimiento y desarrollo de las especies frutales. 2 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 169 p.
- Cook, A. 1975. Diseases of tropical and subtropical fruit and nuts. Hafner Press. New Cork. p. 263-279.
- COSAVEDF (Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal, MX). 2004. Principales plagas y enfermedades que se presentan en la región de Milpa Alta. 27 p.
- Curtis, H. 2008. Biología. 7 ed. Buenos Aires, AR. Medica Panamericana. 1160 p.
- Durán, J.; Mora, D. 1982. Diagnóstico de las enfermedades postcosecha de la papaya en Costa Rica. Agronomía Costarricense 12(1): 7-18.
- Elke, J.; Cardoso, S.; Neves, P. 1992. Microbiologia do solo, Sociedade Brasileira do Ciencia do Solo Campinas (sp), BR, 360 p.
- Fassbender, H. 1969. Química de suelos. IICA. Turrialba, CR. 266 p.
- Fassbender, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da edición. Serie de materiales de enseñanza (no. 29). Turrialba, CR. 491 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, IT) 2003. El nopal (*Opuntia* sp.) como forraje. Mondragón, J.C.; Pérez, S. eds. 176 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2006. Utilización agroindustrial del nopal. 165 p. (Boletín de servicios agrícolas de la FAO # 162)

- Ferrera, R.; Alarcón, A. 2007. Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Trillas. 568 p.
- Ferruzzi, C. 2007. Manual de lombricultura. Trad. C. Buxade. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 138 p.
- Flores, A; Gálvez, V; Hernández; O; López, G; Obregón, A; Orellana, R; Otero, L; Valdés, M. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Editorial Colima, México. 137 p.
- Flores, A.; Galvez, V.; Hernández, O.; López, G.; Obregon, A.; Orellana, R., Otero, L.; Flores, M.; Reveles, M. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. RESPYN. Edición especial (5): 198-210
- Flores, R. 2012. Identificación de hongos asociados a la mancha negra del nopal (*Opuntia ficus-indica* M.) y su sensibilidad al Quitosano. Tesis. MSc. Instituto Politécnico Nacional. Azcapotzalco, MX. 78 p.
- Furlong, M.; Singleton D.; Coleman D., Whitman W. 2002. Molecular and culture based analyses of prokaryotic communities from an agricultural soil and the burrows and casts of the earthworm *Lumbricus rubellus*. Applied and Environmental Microbiology 68:1265-1279.
- García, C. 2002. Rendimiento de ejote en frijol, variedad strike con fertilización orgánica (vermicomposta), química y su efecto en la lixiviación de nitratos al suelo. Tesis profesional. Suelos. UACH. MX. 79 p.
- García, M. 2002. Producción de Guayabas Taiwanesas. SV, CENTA. 14 p. (Boletín Técnico no. 5)
- García, R. 1993. Tendencias mundiales de la Agricultura Orgánica. Conferencias y Mesas Redondas. Primer Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. ISCAH, La Habana, Cuba. p. 1
- García, R. 2006. La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura. Chapingo, MX. UACH. 178 p.
- García, V., Teresa, V. y Espinosa, M. 2000. Efecto de bioabono sobre el área Fotosintéticamente activa, producción de cladodios y eficiencia de recuperación de N en un cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en el primer año post-plantación. Universidad de Chile, 2000, Casilla 1004, Santiago, CH. 96 p.
- García, V. 2004. Introducción a la microbiología. 2 ed. San José, CR. 256 p.
- García, V. 2005. Introducción a la microbiología. 2 ed. EUNED. 244 p.
- Giacometti, D. 1987. Papaya breeding. Acta Horticulturae 196:53-60.
- Goedert, W.; Lobato, E.; Lourenco, S. 1997. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils: Nutrient management and plantefficiency. In: Plant-Soil Interactions at Low pH. Moniz, A.C. et al. (eds.). Brazilian Soil Science Society. p. 97-104.

- González, C.; González, M.; Estavillo, J. 2003. Nitrógeno, agricultura y medio ambiente In: La Ecofisiología Vegetal: una ciencia de síntesis. M. Reigosa; N. Pedrol; A. Sanchez. Eds. Paraninfo. p. 387-412.
- González, R. 2003. Reciclaje de nutrientes: Aspectos prácticos. *In* Manual sobre Agricultura Orgánica Sostenible. Consultado 26 dic. 2012. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/organica.pdf>
- Grajeda, J. 1978. Influencia de la poda sobre la producción intensiva de nopal verdura (*Opuntia* sp.) y su relación con la tasa de asimilación neta. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 94 p.
- Gros, A. 1981. Abonos: Guía práctica de la fertilización. Trad. A. Dominguez. 7 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 559 p.
- Gutiérrez, M. 1990. Caracterización climática de Managua. (En línea). Nicaragua (NI). Consultado 24 dic. 2012. Disponible en: <http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/estudios/caracterizacion%20climatica%20de%20managua.htm>
- Gutiérrez, Y. 2012. Módulo práctico: Técnicas de laboratorio. Compendio de guías. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 61 p.
- Hidalgo, M.; Tapia, A.; Rodríguez, W.; Serrano, E. 2006. Efecto de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del banano Musa AAA cv. Valery. *Agronomía Costarricense*. 30(1):35-41. IFOAM (Internacional Federation of Organic Agriculture Movements) 2009. Los principios de la agricultura orgánica. 4p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario, CO). 1989. El análisis de suelo, planta y agua para riego. Manual de asistencia técnica N° 47. Bogotá, CO.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario, CO). 2006. Manejo fitosanitario del cultivo de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santander. Corpoica. 40 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, NI) 1983. La piña. 20 p. (Serie de publicaciones misceláneas n° 443)
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1998. El mejoramiento de la agricultura mediante la biodegradación controlada de los residuos orgánicos. 45 p. (Serie Publicaciones Misceláneas, no A 1/SC-98-12)
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, NI). 2006. Guía práctica para la exportación a EEUU: Piña. 12 p.
- IICA-COFUPRO (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, MX). 2010. Programa de

- documentación de casos de éxito: Fruta orgánica de la Costa del Pacífico S.P.R. de R.L. 68 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, NI), 2010. Producción de humus de lombriz. (En línea). Nicaragua (NI). Disponible en: <http://www.bionica.info/biblioteca/Lombricultura.pdf>
- INETER (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales, NI) 2011. Resumen meteorológico anual. Estación Aeropuerto Internacional Managua. Datos 2009-2011.
- ISRIC (Internacional Soil Reference and Information Centre). 1995. Procedure for Soil Analysis. 5th ed. Wageningen, The Netherlands.
- Jarquín, Y.; Lagos, O.; Blanco, M. & Cruz, N. 2010. Efecto de diferentes dosis de compost sobre el crecimiento, rendimiento y rentabilidad en el cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica*.), Las Esquinas, Carazo. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 74 p.
- Jiménez, J. 1996. EL cultivo de piña para exportación. México, Taller Grafico. 167 p.
- Koneman, E. 2008. Diagnóstico microbiológico: texto y atlas en color. 6 ed. Bueno Aires, AR. Médica Panamericana S.A. 1696 p.
- Koppen, W. 1938. Das geographische System der Klimate. Berlin, DE. Borntraeger Science Publishers. 1(C): 5-44.
- LABSA (Laboratorio de Suelos y Agua, NI) 2009. Análisis de suelo para la Calera. Universidad Nacional Agraria, 1p.
- Lachica, M.; Recalde, L. y Esteban, E. 1965. Análisis foliar. Métodos analíticos utilizados en la Estación Experimental Zaidin. Anales de Edafología y Agrología 24 (9-10):589-610.
- Lluch, C.; Carrero, J.; Tejera, N.; Ocaña, A. 2003. Interacción planta-microorganismo del suelo: Simbiosis fijadoras de nitrógeno. En: La Ecofisiología Vegetal: una ciencia de síntesis. M. Reigosa; N. Pedrol; A. Sanchez. Eds. Paraninfo. p. 331-360.
- Loubiere, P; Cocaign, M.; Matos, J.; Goma, G.; Lindley, N. 1997. "Influence of end products inhibition and nutrient limitations on the growth of *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*". Journal Appl Microbiol 82, 95-100.
- Mc Lean, E.O. 1982. Soil and Lime Requirement. In: A. L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 2 nd ed. Agronomy 9:199-224.
- MAG (Ministerio de agricultura y ganadería, CR) 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, 560 p.

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, NI). 1996. La piña; la reina de las frutas. Revista Agricultura y Desarrollo. 12 p. (N° 19)
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2003. Estudio de cadena de producción y comercialización de frutas (papayas, limones, naranjas y aguacates). Managua, NI. 88 p.
- Marañes, A.; Sánchez, J.; De Haro, S.; Sánchez, S.; Lozano, F. (1998). Análisis de suelos. Metodología e interpretación. Dpto. Edafología y Química agrícola. Serv. Publ. Univ. de Almería. 184p.
- Marcano, D.; Bravo, I. 1993. Distribución e incidencia de la pudrición blanda en piña del Municipio Crespo, Estado Lara. ES. FONAIAP. Divulga. Set-Dic. No. 44.
- Marín, R. 2003. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas. Madrid, ES. Díaz de Santos S.A. 336 p.
- Martínez, R. 1986. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba. 167 p.
- Martínez, R. 2003. Lombricultura: manual práctico. Instituto de Suelos, La Habana, CU.
- Mata, I.; Rodríguez, A. 1990. Cultivo y producción del guayabo. 2 ed. MX. Trillas. 130 p.
- Matheus, C.; Moraes, A.; Tundisi, T.; Tundisi, J. 1995. Manual de análisis Limnológicas. Univerdidad de Sao Paulo. Centro de Recursos Hídricos y Ecología aplicada. BR. 32 p.
- MASSON, S.A. 2005. Diccionario médico. 4 ed. Barcelona, ES. 739 p.
- Mayorga, M.; Barrero, F.; Rodríguez, G. 1969. Las costras de la guayaba: Identificación, comportamiento y control del microorganismo que las causa. Tunja, Colombia. Tesis. Ing. Agr. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería Agronómica. 74 p.
- Mitscherlich, E. 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags, Landwirtschaftliche Jahrbücher, 38, 537-552.
- Molina, E. 2002. Fertilización foliar de cultivos frutícolas. G. Meléndez, E. Molina, eds. Laboratorio de Suelos y Foliare, CIA/UCR. San José, CR. 103 p.
- Mondragón, J. 1994. Fertilización del nopal tunero. En: Esparza, F.G. y S. J. Méndez eds. Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas. C.R.E.Z.A.S.C.P. MX. p. 41-45.
- Montilla, I.; Fernández, S.; Alcalá, D.; Gallardo, M. 1997. El cultivo de la piña en Venezuela. Maracay, VE. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro de investigaciones agropecuarias del Estado Lara. IICA/CReA/PROCIANDINO/FRUTHEX. 155 p.

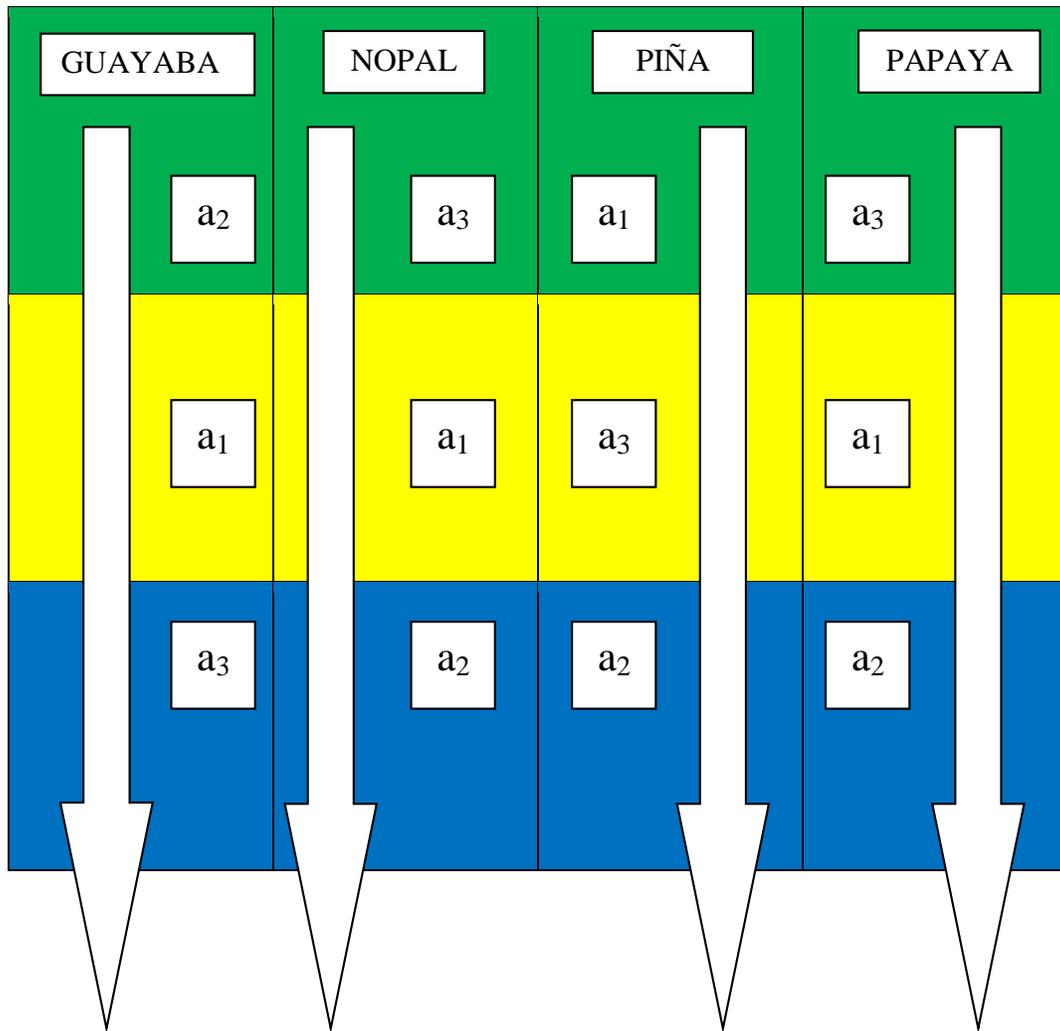
- Morera, R.; Blanco, H. 2009. Microorganismos asociados a frutos embolsados de guayaba Taiwanesa variedad Tai Kuo. *Agronomía Mesoamericana* 20(2):339-349.
- Mortvedt, J. 1991. Micronutrient fertilizer technology. *In* Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. and Welch R.M. (eds.). *Micronutrients in Agriculture: Second Edition*. Number 4 in the Soil Science Society of America Book Series. Chapter 14. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Munson, R. 1985. *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy, Inc. Nature Farming International Research Foundation. 1992. *Standards of nature farming systems and practices*. 2 ed. Atami, Japan
- OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, SV). 2002. *Manual técnico buenas prácticas agrícolas en papaya. Proyecto regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en cultivos de exportación no tradicional-VIFINEX*. 58 p.
- _____. 2003. *Manual técnico: seminario sobre producción y manejo post-cosecha de La Piña para la exportación. Proyecto regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en cultivos de exportación no tradicional – VIFINEX*. 69 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, 2003). *Frutas y verduras biológicas tropicales*. Nueva York, US. 364 p.
- Pac, P. 2005. *Experiencias en el cultivo de piña (Annanas comosus L.) con el híbrido MD2 en finca La Plata, Quetzaltenango, MX*. 61 p.
- Peña, H.; Días, J.; Martínez, T. 1996. *Fruticultura Tropical Primera Parte: piña y mango*. Bogotá, CO. 234 p.
- Pedroza, H.; Dicovskyi, L. 2006. *Sistema de análisis estadístico con SPSS*. INTA-IICA. Managua, NI. 152 p.
- Pérez, E.; Santos, R.; Montiel, A.; Marín, M.; Sandoval, L. 2000. *Micoflora de una plantación de guayabo (Psidium guajava L.) en la planicie de Maracaibo del estado de Zulia*. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 17:373-383.
- Py, C. 1969. *La Piña Tropical*. Barcelona, ES. Blume. 278 p.
- Quintana, J.; Blandón, J.; Flores, A.; Mayorga, E. 1983. *Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua*. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, Nueva York. Residencial Las Mercedes N° 19-A. Managua, NI. 60 p.
- Reeuwijk, L. 1995. *Procedures for soil analysis*. 5^{ed}. *Internacional Soil References and Information Center (ISRIC) Wageningen, NL*.
- Ríos, J.; Quintana, V. 2004. *Manejo general del cultivo del nopal*. *Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, MX*. 81 p.
- Ríos, J. 2009. *Bacteriología y virología*. *Universidad Autónoma de Sinaloa, MX*. 84 p.

- Ribas, F.; Cabello, M.; Moreno, M.; Moreno, A.; López, L. 2000. Respuesta fisiológica de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintas dosis de riego. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 15(3):196-210.
- Rodríguez, J. 2010. Efecto de fuentes de nitrógeno de origen orgánico a diferentes dosis en el cultivo de piña (*Ananas comosus*) (L) Merr. Híbrido MD-2 cultivada bajo técnicas orgánicas. Tesis. Ing. Agr. Instituto Tecnológico de Costa Rica Sede Regional San Carlos. CR. 93 p.
- Rose, S. 2006. El cultivo de piña en el municipio de Ticuantepe: Situación actual y perspectivas. Maestría en Administración y Dirección de Empresas (MADE) Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la UCA. Managua. NI. IN: Encuentro 2006/ Año XXXVIII, N° 74, 69-79
- Russell, E.; Wild, A. 1989. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 1025 p.
- Salinas, J.; García, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Programa de Pastos Tropicales. Cali, CO. 83 p.
- Salisbury, F.; Ross, C. 1992. *Plant physiology*. 4 ed. Wadsworth. Belmont, US. 422 p.
- Sánchez, B. 2006. Al nopal no sólo hay que verlo cuando tiene tunas. *Cuadernos de Nutrición*. 29(2):62-65.
- Sánchez, J. 2007. Los hongos fundamentales en la productividad del suelo. Laboratorio de Microbiología ambiental. Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas. Michoacán, MX. 3 p.
- Schlegel, H. 1996. *Microbiología general*. Trad. J. Lalucat. Barcelona, ES. OMEGA, S.A. 669 p.
- Schuldt, M. 2006. *Lombricultura teoría y práctica*. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 306 p.
- Snowdon, A. 2010. *Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables*. London, UK. MANSION. 291 p.
- Torres, D. 2006. Derivados de benzotiazoles y oxiranos como agentes antifúngicos. Tesis Mag. Sc. Universidad del Tulabo, PR. 20 p.
- Torrico, J.; Cardona, J. 2008. *Ganadería ecológica*. Bogotá, CO. UNAL. 350 p.
- Toyota K., Kimura M. 2000. Microbial community indigenous to the earthworm *Eisenia foetida*. *Biology and Fertility of Soils* 31:187-190.
- USDA (United State of Department of Agricultural). 1996. *Soil survey laboratory methos manual*. Soil survey investigations Report N° 42. Versión 3. Washington, D.C.

- Urdaneta, L.; Araujo, D.; Quirós, M.; Rodríguez, D.; Colmenares, C.; Poleo, N. Petit, Y. Dorado, I. 2009. Micobiota endófitas asociada a estadios preflorales del guayabo (*Psidium guajava* L.) y al ácaro plano (*Brevipalpus phoenicis*) (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae). Proyecto FONACIT, VE. 9 p.
- Vásquez, A. 1999. Componentes del rendimiento en chícharo (*Pisum sativum* L.) bajo diferentes fuentes de fertilización (estiércol, lombricompost y fertilización química) e inoculación de lombriz de tierra. Tesis profesional. Suelos. UACH. MX
- Velásquez, L. 1990. Efecto del estiércol bovino solarizado y actinomicetos en la incidencia de *Phytophthora cinnamomi* Rand y otros phythiaceos en raíces de aguacate, tesis profesional, Depto. Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, MX.
- Ventura, J.; Zambolim, L. 2002. Controle das Doenças do Abacaxizeiro. In: Zambolim, L. *et al.* (ed.). Controle de doenças de plantas fruteiras, Viçosa. p. 445-510.
- Verde, W. 2012. Estudio de suelos potenciales del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) en la provincia de coronel portillo, región de Ucayali. Tesis Mag. Sc. EPG, UNALM. Lima, PE. 40 p.
- Vieira, V. 1995. Green manuring of papaya trees. *Acta Hort.* 370: 117-119.
- Walkey, A.; Black, I.A. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil. Sci.* 37:29-38.
- Winding, A.; Rohn, R.; Hendriksen, N. 1997. Bacteria and protozoa in soil microhabitats as affected by earthworms, en *Biol. Ferti. Soils*, v. 24, 133-140 p.
- Yami, K.; Shrestha A. 2005. Selective utilization of organic substrates during vermicomposting and the study of microflora. *Journal of Nepal Biotechnology Association* 2: 23-26.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo



Anexo 2. Clasificación de los suelos de Nicaragua según su pH

Clasificación	pH (H ₂ O) ²
Extremadamente ácido	<4.6
Muy frecuentemente ácido	4.6-5.2
Frecuentemente ácido	5.2-5.6
Medianamente ácido	5.6-6.2
Ligeramente ácido	6.2-6.6
Muy ligeramente ácido	6.6-6.8
Neutro	6.8-7.2
Muy ligeramente alcalino	7.2-7.4
Ligeramente alcalino	7.4-7.8
Medianamente alcalino	7.8-8.4
Fuertemente alcalino	8.4-8.8
Muy frecuentemente alcalino	8.8-9.4
Extremadamente alcalino	>9.4

Fuente: Quintana, J., *et al.* 1983.

Anexo 3. Composición química de frutos de guayaba

% Humedad	76.2 - 90.9
% Proteína	0.6 - 1.6
% Grasas	0.35 -.070
% Carbohidratos	2.41 – 14.19
% Fibra	2.69 – 5.15
% Cenizas	0.34 - .095
Acido dehidroascórbico (mg)	35.8 –290.3
Acido ascórbico (mg)	53.3 – 213.3

Fuente: Peña, H. *et al.*, 1998. Fruticultura Tropical, 2da Parte. ICFES. 84 p.

Anexo 4. Composición química del cladodio en nopal

COMPUESTOS	100 g. NOPAL				
	Tierno	Semi-tierno	Lleno	Harina	Fruto/FAO
Energía (kcal)	26	27	19	266	49
Agua (%)	93	91	92	9	88
Sólidos solubles totales (mg)	7	9	8	91	15
Carbohidratos totales (g)	4	6	1	58	9
Proteína (g)	1	1	4	8	2
Grasas (g)	1	0.1	0.02	0.02	0.5
Calcio (mg)	928	784	1113	9	49
Hierro (mg)	35.6	8.92	9.51	40.5	2.6
Zinc (mg)	14.4	5.28	4.13	38.4	-

Fuente: Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI), DO. 2005.

Anexo 5. Clasificación de suelos según resultados de pH, conductividad eléctrica y presencia de carbonato cálcico

pH	Características ^a		Clasificación
	Conductividad eléctrica (μ mos/cm)	CaCO ₃ libre	
<5.4	<400	Ausente	Muy ácido, no calcáreo, no salino
5.4–7.0	<400	Ausente	Acido a neutro, no calcáreo, no salino
>7.0	<400	Presente	Calcáreo, no salino
<7.0	>400	Ausente	No calcáreo, salino
>7.0	>400	Presente	Calcáreo, salino

Fuente: Salinas, J.; García, R. 1985.

Anexo 6. Recomendación de fertilización anual según la edad de la planta de guayaba

Edad años	Elemento (gramos por planta)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
1	4	4	40
2	60	60	60
3-4	120	120	120
5-6	200	120	200
7-8	250	140	250
9-10	300	180	300
>11	400	200	400

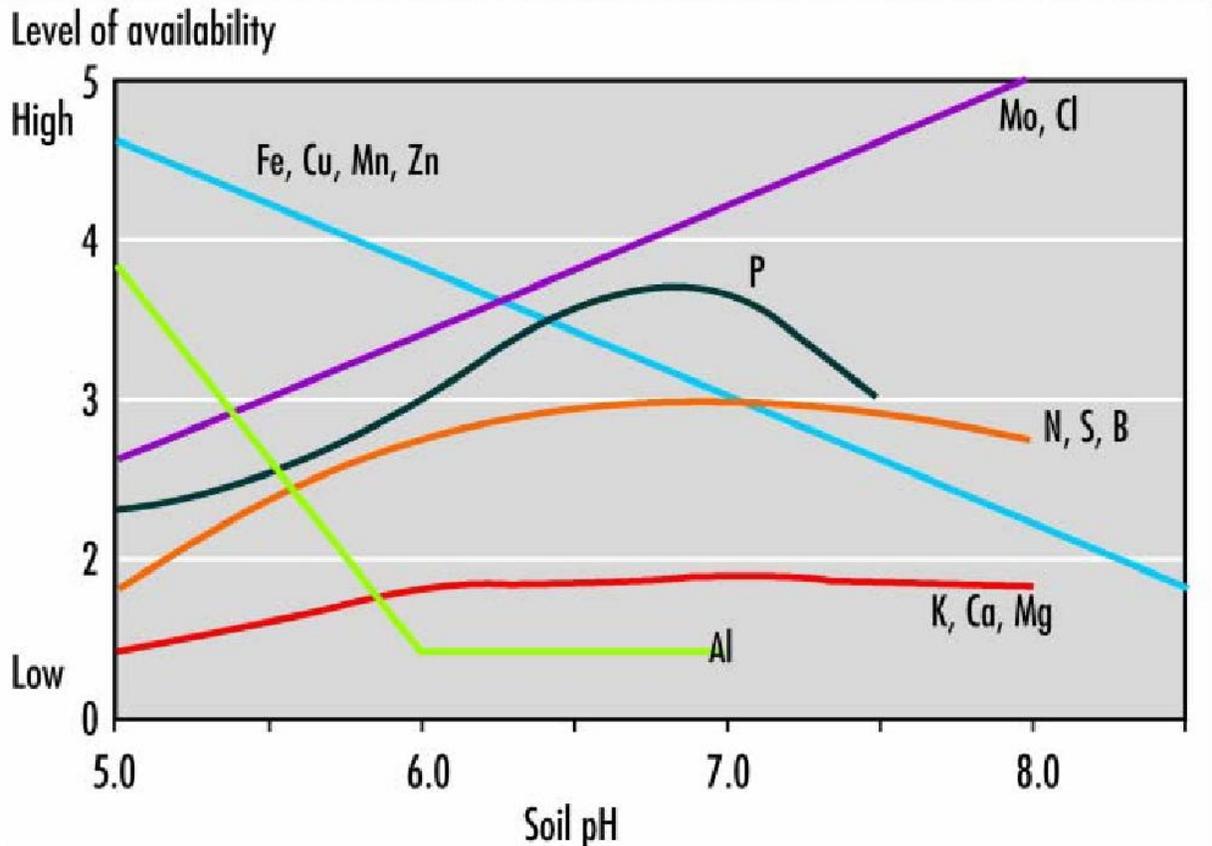
Fuente: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA. 2002.
Boletín técnico número 5. Producción de guayabas taiwanesas. SV. 14 p

Anexo 7. Nutrientes extraídos por los órganos aéreos del papayo

MACRO	Kg/mz	MICRO	g/mz
Nitrógeno	77.07	Boro	85.68
Fósforo	7.28	Cobre	23.1
Potasio	72.52	Hierro	265.44
Calcio	28.63	Manganeso	172.2
Magnesio	11.9	Molibdeno	0.14
Azufre	8.4	Zinc	92.05

Fuente: CENTA, 2010

Anexo 8. Niveles de disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo



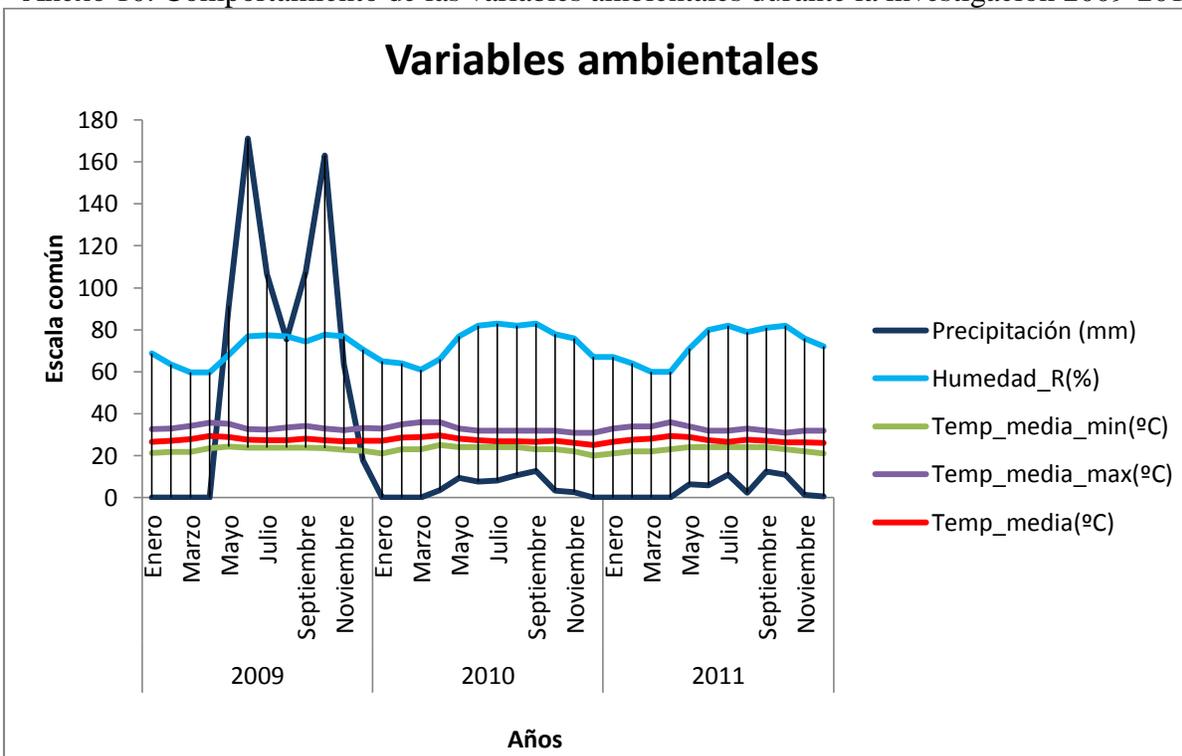
Fuente: Goedert, W.J., E. Lobato, and S. Lourenco. 1997.

Anexo 9. Microorganismos que participan del proceso de mineralización

Bacterias	Actinomicetes	Hongos
<i>Micrococcus sp.</i>	<i>Streptomyces sp.</i>	<i>Aspergillus sp.</i>
<i>Bacterium sp.</i>	<i>Nocardia sp.</i>	<i>Penicillium sp.</i>
<i>Bacillus sp.</i>		<i>Dematiacem sp.</i>
<i>Azotobacter sp.</i>		<i>Fusarium sp.</i>
<i>Clostridium sp.</i>		<i>Cladosporium sp.</i>
		<i>Hormodendrum sp.</i>
		<i>Neospura sp.</i>
		<i>Bacidiomicetes</i>

Fuente: Fassbender, H. 1969.

Anexo 10. Comportamiento de las variables ambientales durante la investigación 2009-2011



Fuente: Elaboración propia. Datos de INETER, Estación: Aeropuerto Internacional Managua (69027)

Anexo 11. Variación en la población de hongos en suelo de pastizales, a diferente nivel de humedad

% de humedad del suelo	Total hifales	UFC* de hongos/g x 10 ³		
		Unidades	Disminuyen con la humedad	Esporas % del total
8.9	99	60	39	39
11.2	89	57	32	36
18.5	142	113	29	20
24.2	149	133	16	10
27.1	173	153	20	12

*UFC=unidades formadoras de colonias

Fuente: Sánchez, J. 2007.

Anexo 12. Medidas resumen del crecimiento en el cultivo de guayaba

Tratamiento	Variable	Media	Mín	Máx	Mediana
a1	N° de ramas terciarias	22.44	13	43	22
a1	N° de frutos en ramas terciarias	36.78	11	60	37
a1	N° de frutos totales	38.89	12	61	40
a2	N° de ramas terciarias	16.44	10	24	17
a2	N° de frutos en ramas terciarias	25.11	4	59	19
a2	N° de frutos totales	26.44	10	61	19
a3	N° de ramas terciarias	25.22	0	49	24
a3	N° de frutos en ramas terciarias	39.11	0	77	33
a3	N° de frutos totales	40.78	0	84	33

Anexo 13. Extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en kg ha⁻¹ según diversos autores

Autores	N	P2O5	K2O
Stewart y col.	67	19	238
Krauss	350	121	1131
Follett-Smith y Bourne	107	87	411
Bonane	83	28	437
Cowie	123	34	308

Fuente: Peña *et al.* 1996.