



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE PRODUCCION VEGETAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el crecimiento,
rendimiento, captura de carbono y rentabilidad en nopal
(*Opuntia ficus indica* L), y tres frecuencias de cosecha,
Managua, invierno. 2010**

AUTORES

**Br. Luis Alberto Ruiz Rubio
Br. Jorge Luis Fajardo González**

ASESORES

**Ing. MSc. Aleida López Silva
Ing. Hugo René Rodríguez González**

**Managua, Nicaragua
Septiembre, 2012**



*“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”*

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA DEPARTAMENTO DE PRODUCCION VEGETAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el crecimiento,
rendimiento, captura de carbono y rentabilidad en nopal
(*Opuntia ficus indica* L), y tres frecuencias de cosecha,
Managua, invierno. 2010**

AUTORES

**Br. Luis Alberto Ruiz Rubio
Br. Jorge Luis Fajardo González**

ASESORES

**Ing. MSc. Aleida López Silva
Ing. Hugo René Rodríguez González**

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

**Managua, Nicaragua
Septiembre, 2012**

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RSUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Ubicación del área de estudio	4
3.2. Diseño metodológico	4
3.2.1. Análisis de suelo	4
3.2.2. Análisis de vermicompost	5
3.2.3. Materiales y equipos	5
3.3. Manejo del ensayo	6
3.4. Variables evaluadas	7
3.4.1. Variables de crecimiento	7
3.4.2. Variables de rendimiento	7
3.4.3. Mortalidad	8
3.4.4. Carbono	8
Peso fresco	8
Biomasa	8
Captura de carbono en la planta	8
3.4.5. Rentabilidad económica	9
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4.1. Crecimiento del nopal	10
4.1.1. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el número de brotes por tratamiento	10
4.1.2. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje mayor del brote en el nopal	11
4.1.3. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje menor del brote en nopal	11
4.1.4. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el número de cladodios en el nopal	12
4.1.5. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje mayor de cladodios en el nopal	13
4.1.6. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje menor de cladodios en el nopal	14
4.2. Rendimiento del nopal	15
4.2.1. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el número de	15

cladodios en el nopal	
4.2.2. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje mayor del cladodio en el nopal	16
4.2.3. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje menor del cladodio en el nopal	17
4.2.4. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el grosor del cladodio en el nopal	18
4.2.5. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el peso del cladodio en el nopal	19
4.3. Mortalidad	20
4.4. Estimación de biomasa y fijación de carbono	21
4.5. Análisis económico por presupuesto parcial	22
V CONCLUSIONES	26
VI RECOMENDACIONES	27
VII LITERATURA CITADA	28
VIII ANEXOS	32

DEDICATORIA

Primeramente a Dios por haberme dado la dicha de vivir y salir con mucho orgullo de mi carrera profesional. A mis padres Sandra Elena Rubio Aguilar y Roger Luis Ruiz García, principalmente a mi madre que con su esfuerzo logró sacarme adelante en mi decisión de estudio, le agradezco por darme esa confianza que pocas madres saben dar a sus hijos.

A mis hermanas Karla Patricia y Magaly Jeaneth, mis tías que me daban ánimos de no apartarme de mis obligaciones como estudiante.

A mis amistades y compañeros que de una u otra forma me dieron ánimos de seguir adelante y luchar por mis objetivos.

Luis Alberto Ruiz Rubio

A Dios primeramente por darme el maravilloso don de la vida y acompañarme paso a paso en este trabajo, por iluminar mi mente y porque siempre ha sido mi sustento en los momentos más difíciles.

A mi familia; especialmente a mis padres Gilberto Fajardo Centeno y Lucía González Montenegro por su amor incondicional, por brindarme su apoyo en cada una de las metas que me he propuesto. Gracias por darme una carrera y confiar en mí siempre.

Jorge Luis Fajardo González

AGRADECIMIENTO.

A Dios por darme la sabiduría y ayudarme a cumplir mis metas, a mis padres y mis hermanas por brindarme siempre su ayuda a mis compañeros de clase que siempre de una manera u otra nos ayudamos entre sí.

A nuestra Virgen María, que siempre intercedió por mí en las dificultades que se me presentaron.

A los docentes del Departamento de Producción Vegetal que me ayudaron en mis problemas de trabajo.

A mis asesores Ing. Aleida López. MSc., y el Ing. Hugo René Rodríguez que siempre estaban pendiente de nuestro trabajo.

A Carolina del Carmen Padilla Ramírez, por su ayuda en la Universidad, le agradezco de todo corazón su amistad y los consejos que me fortalecieron en momentos difíciles de mi carrera y de mi vida.

Luis Alberto Ruiz Rubio

A mis hermanos Geysell, Yasser y Frander quiero que sientan que esta meta alcanzada también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a lograrla también fue su apoyo. Gracias a ustedes he alcanzado uno de mis más grandes sueños.

A Ernesto Rodríguez y Pastora Olivas por apoyarme siempre con sus oraciones y consejos que fueron de vital importancia para que este momento llegara.

A mis asesores MSc. Aleida López Silva e Ing. Hugo René Rodríguez, por permitirme trabajar con ellos e instruirme en mi vida profesional.

A Carolina del Carmen Padilla Ramírez por brindarme su amistad y apoyo en todo momento y de manera incondicional durante estos cinco años de mi carrera profesional.

A todos mis amigos y compañeros de clase que de una u otra forma me ayudaron en cada momento para lograr esta meta, y a la Universidad Nacional Agraria y profesores que participaron en mi formación profesional.

Jorge Luis Fajardo González.

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Resultados del análisis de suelo	5
2. Resultado de análisis de vermicompost	5
3. Descripción de vermicompost y frecuencia de cosecha en el cultivo del nopal. Managua invierno 2010	5
4. Datos generales del ensayo	22
5. Presupuesto parcial. Nopal invierno 2010	23
6. Análisis de dominancia	24
7. Análisis marginal	24

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Número de brotes por hectárea, Managua invierno 2010	10
2. Eje mayor de brotes por hectárea, Managua invierno 2010	11
3. Eje menor de brotes por hectárea, Managua invierno 2010	12
4. Número de cladodios por hectárea, Managua invierno 2010	12
5. Eje mayor de cladodios por hectárea, Managua invierno 2010	14
6. Eje menor de cladodios por hectárea, Managua invierno 2010	14
7. Número de cladodios cosechados por hectárea, Managua invierno 2010	15
8. Eje mayor de cladodios cosechados por hectárea, Managua invierno 2010	16
9. Eje menor de cladodios cosechados por hectárea, Managua invierno 2010	17
10. Grosor de cladodios cosechados por hectárea, Managua invierno 2010	18
11. Peso de cladodios cosechados por hectárea, Managua invierno 2010	19
12. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre la mortalidad en nopal	20
13. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre la fijación de carbono en nopal	21

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO	PÁGINA
1. Tabla nutricional del nopal	32
2. Diseño de campo	33
3. Concentraciones óptimas y rangos de suficiencia para <i>Opuntia ficus indica</i> .	34
4. Tabla de Beneficio/Costo de los tratamientos	35

RESUMEN

El experimento se estableció en el costado noreste de la granja de cultivo de peces, ubicada en la Universidad Nacional Agraria (UNA); km 12 ½ carretera norte, Managua, Nicaragua en junio del 2009, con el objetivo de evaluar el crecimiento, rendimiento, captura de carbono y rentabilidad en el cultivo del nopal (*Opuntia ficus indica*), con tres dosis de vermicompost (10, 15 y 20 t*ha⁻¹), a una distancia de un metro entre surco y medio metro entre planta, correspondiente a un área total de 225 m² en un diseño cuasi-experimental con franjas apareadas, cosechándose cada 30, 60 y 90 días. Los análisis estadísticos empleados fueron paramétricos y no paramétricos Kruskal Wallis y Tukey respectivamente, se usó la metodología de CIMMYT para el análisis económico. Los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de 15 t*ha⁻¹ de vermicompost, cosechados cada 90 días en las variables: número de brotes, eje menor de brotes, número de cladodios, eje mayor de cladodios, grosor y la menor cantidad de plantas muertas. Con 15 t*ha⁻¹ cosechándose cada 30 días se obtuvieron los mejores resultados en el número de cladodios cosechados, en el caso del eje mayor, eje menor y peso del cladodio cosechado el mejor resultado fue con la aplicación de 20 t*ha⁻¹ cada 90 días. Con respecto al carbono la mayor concentración se logró con la aplicación de 10 t*ha⁻¹ de vermicompost. El tratamiento más rentable fue de 15 t*ha⁻¹ cosechando cada 30 días recuperando 101.50 % sobre lo invertido.

Palabras claves: cladodio, brote, carbono, rentabilidad.

ABSTRACT

The experiment was set in the northeast side of the farm fish culture, located in the National Agrarian University (UNA); 12 ½ miles Northern Highway, Managua, Nicaragua in June 2009 with the objective of evaluating the growth, yield, capture carbon and profitability in the cultivation of nopal (*Opuntia ficus indica*), with three doses of vermicompost (10, 15 and 20 t*ha⁻¹), a distance of one meter between row and two feet between plants, corresponding to a total area of 225 m² in a quasi-experimental with matched stripes, harvested every 30, 60 and 90 days. Statistical analyzes were parametric and nonparametric Kruskal Wallis and Tukey respectively, was used CIMMYT methodology for economic analysis. The best results were obtained with the application of 15 t*ha⁻¹ of vermicompost, harvested every 90 days in the variables: number of shoots, shoot minor axis, number of cladodes, cladodes axis, thickness and fewer dead plants. With 15 t*ha⁻¹ were harvested every 30 days yielded the best results in the number of harvested cladodes, in the case of the major axis, minor axis and harvested cladode weight was the best result with the application of 20 t*ha⁻¹ every 90 days. With respect to carbon the highest concentration was achieved with the application of 10 t*ha⁻¹ of vermicompost. The most cost effective treatment was 15 t*ha⁻¹ harvested every 30 days recovering 101.50% on the investment.

Keywords: cladode, bud, carbon, profitability.

I. INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia ficus-índica* L. Miller.), es una planta perenne, perteneciente a la familia cactácea originaria de México, se encuentra distribuida a lo largo del continente americano, especialmente en lugares desérticos, generando gran variabilidad genética y posibilidades de adaptabilidad (Flores & García, 2003)

Las opuntias son nativas de varios ambientes, desde el nivel del mar en los desiertos de California, hasta elevaciones de más de 4 700 m en las montañas de Perú; también suele encontrarse en regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre arriba de 5 °C a regiones de Canadá que tienen hasta 40 °C en el invierno (Nobel, P.S., 1998)

El nopal, al igual que casi todas las cactáceas, es una planta que no tiene hojas, aún cuando en su etapa de juventud contiene algunas. Lo que vemos del nopal son sus tallos que tienen forma de raquetas, botánicamente llamadas cladodios y comúnmente se les conoce como pencas. Estas pencas alcanzan en su peso normal hasta un 95% de agua que se encuentre retenida en un entramado de carbohidratos llamados mucílagos, que al ser cortado presenta una sustancia lechosa o gomosa que le permite mantenerse en tiempo de sequía.

El interés del ser humano por el nopal data de miles de años. Su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica a las que iniciaron su cultivo de modo formal (Pimienta, E. 1990)

Es una planta capaz de crecer en suelos muy pobres e incluso en zonas donde la capa arable es muy superficial, presentando un alto potencial de establecimiento en estas condiciones, lo que unido a su gran resistencia a la sequía la hace especialmente interesante para muchas zonas del planeta en las que la desertificación constituye una amenaza o se presenta como imparable (Melgarejo, P. 2000)

La importancia del cultivo radica en la diversidad de utilidades que posee, tanto por su valor nutritivo, así como la capacidad de sobrevivencia o subsistencia en las diferentes zonas áridas de nuestro país, ya que debido a su constitución morfológica y fisiológica posee alta resistencia a la sequía y a cambios climáticos (Ríos y Quintana, 2004).

En el mundo, la tendencia por el consumo de alimentos libres de residuos tóxicos, sanos y amigables al ambiente, inicia en la década de los años 70, predominantemente en Europa Central; en sus inicios el consumo de estos productos fue considerado como una moda; sin embargo, con el paso de los años y ante la constante degradación de los recursos naturales en el mundo, esta actividad fue creciendo a tal grado que a finales de la década de los 90, se convierte en una fuerte tendencia del mercado. (Rendón M. 2007)

La agricultura orgánica se orienta a proporcionar un medio ambiente limpio y balanceado para potenciar la capacidad productiva y fertilidad natural de los suelos optimizando el reciclaje de los nutrientes, el control natural de plagas y enfermedades. Una población sana y la conservación de los fundamentos de la vida, exigen favorecer la opción de una agricultura que fomente prácticas y técnicas amigables con el medio ambiente (Schuldt, M. 2003).

La lombricultura tiene un enfoque ecológico por el reciclaje que se realiza con los diferentes sustratos empleados en su alimentación (excreta bovina, basura orgánica, desperdicios industriales); tiene además un enfoque tecnológico por los fenómenos microbiológicos y bioquímicos que ocurren en el proceso de fermentación de la alimentación de las lombrices a partir de materiales orgánicos y brinda una respuesta simple, racional y económica al problema ambiental; (Somarriba y Guzmán, 2004).

Uno de los criterios en que se basan los cultivadores de nopal para realizar la cosecha de los brotes vegetativos ya sea para aprovecharlos como nopalito o como forraje es el tamaño de cladodio o estadio de crecimiento. Para esto es necesario que las actividades de cosecha tengan una determinada frecuencia de cosecha para una mayor aproximación a la calidad deseada, lo deseable sería una frecuencia baja de cosecha y una producción alta para cada una de ellas, es decir, una eficiencia alta en la cosecha (Ramírez, H. 2006)

Es necesario generar y adaptar tecnologías de producción, que nos permita lograr una adecuada productividad, transferir los conocimientos e involucrar a todos los actores del proceso, para contar con productos de calidad y cantidad que cubran las demandas del mercado.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Determinar el crecimiento, rendimiento, captura de carbono y rentabilidad del nopal, utilizando tres diferentes dosis de vermicompost y tres frecuencias de cosecha.

2.2.Objetivos específicos

2.2.1 Determinar el comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del nopal, utilizando tres diferentes dosis de vermicompost combinado con tres frecuencias de cosecha.

2.2.2 Calcular la captura de carbono en el cultivo de nopal durante su crecimiento vegetativo.

2.2.3 Comparar la rentabilidad económica para la producción de nopal utilizando tres diferentes dosis de vermicompost combinado con tres frecuencias de cosecha.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El ensayo se estableció en el costado noreste de la granja de cultivo de peces ubicada en la Universidad Nacional Agraria (UNA) km 12 ^{1/2}. Carretera norte. Managua, Nicaragua. Ubicada en las coordenadas geográficas, 12° 8' 59'' latitud norte y 86° 09' 49'' longitud oeste, con una altitud aproximada de 56 msnm; tiene un clima característico de un bosque seco, cálido; con una temperatura promedio anual de 27.7 °C, precipitaciones de 1140 mm por año y una humedad relativa promedio de 71% (INETER 2009)

Las principales características que presenta este suelo donde se estableció el experimento son: textura franco arcillosa, pendiente mínima, suelo profundo y suelto, pH básico y buen drenaje (Acuña, C.; Lara, C.; Reyes, G. 2001)

3.2. Diseño metodológico

El ensayo se estableció en un diseño en franja apareadas utilizando tres niveles de vermicompost (10, 15, 20 t*ha⁻¹), y tres frecuencias de cosecha a los 30, 60 y 90 días, distribuidos completamente al azar, en un periodo de 6 meses correspondiente al período de mayo a octubre del año 2010.

La parcela experimental tuvo las siguientes dimensiones 22.5 m de largo y 10 m de ancho, ocupando un área total de 225 m², donde se establecieron 450 plantas distribuidas en 10 surcos de 45 plantas en cada uno, con una parcela útil de 180 plantas distribuidas uniformemente. La distancia de siembra fue de 0.5 m entre planta y 1 m entre surco. Correspondiente a una densidad poblacional de 20,000 plantas*ha⁻¹. Se utilizó semilla vegetativa con tres cladodios en forma de conejita.

3.2.1. Análisis de suelo

El análisis de suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria donde se llevó una muestra por tratamiento, tres en total; se tomaron a una profundidad de 20 cm obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro 1. Resultado de análisis de suelo.

Descripción	pH	MO	N	P- disp.	K – disp.	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	(H ₂ O)	(%)	(ppm)	(me/100 g suelo)			(ppm)				
Inicial	7.71	3.38	0.17	19.30	4.61	22.34	5.46	5.60	1.12	37.60	3.12
I a₁	8.35	1.30	0.07	2.90	2.65	28.76	5.10	1.20	nd	0.08	12.96
I a₂	8.23	1.90	0.10	4.20	2.63	28.50	6.15	0.48	nd	nd	4.72
I a₃	7.41	1.70	0.08	3.60	1.95	16.41	5.07	24.88	4.96	0.48	29.36
F a₁	7.62	1.88	0.09	3.30	2.61	26.39	5.63	10.16	1.84	1.76	32.64
F a₂	8.26	2.59	0.13	3.90	3.46	4.06	7.90	nd	nd	0.80	18.64
F a₃	7.46	2.48	0.12	2.00	2.17	18.40	5.82	48.32	6.24	2.08	44.48

Fuente. Laboratorio de suelos y agua. UNA. Donde I= Intermedio, F=Final, nd= No disponible

3.2.2. Análisis del vermicompost

Cuadro 2: Resultados de análisis de vermicompost

Identificación	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	% H
	%					Ppm				
Vermicompost	1.31	1.05	0.64	1.90	0.40	2.32	65	510	120	82.91

Fuente. Laboratorio de suelos y agua. UNA.

3.2.3. Materiales y equipos

Los materiales que se utilizaron fueron: azadones, machetes, guantes, balanza, reglas, tablas de campo, lápices mecánicos, carretillas, tijeras, cuchillos para la poda, barrenos, bolsas de papel kraft, bolsas de plástico, marcadores, el horno secador.

Cuadro 3. Descripción de vermicompost y frecuencia de cosecha en el cultivo del nopal. Managua invierno 2010

Tratamientos	Descripción	Dosis (kg/planta)	Dosis (t*ha ⁻¹)	Frecuencia de cosecha (días)
a ₁ t ₁	Vermicompost	0.56	10	30
a ₁ t ₂				60
a ₁ t ₃				90
a ₂ t ₁	Vermicompost	0.84	15	30
a ₂ t ₂				60
a ₂ t ₃				90
a ₃ t ₁	Vermicompost	1.12	20	30
a ₃ t ₂				60
a ₃ t ₃				90

3.3. Manejo del ensayo.

El material de siembra utilizado (semilla vegetativa) fueron posturas de nopal de tres cladodios en forma de conejitas, recolectadas en la UNAN Managua, específicamente en los alrededores de la Universidad. Se seleccionó este tipo de estructura vegetativa debido a la efectividad que ha demostrado la semilla en investigaciones anteriores (Blanco, M. et al., 2005). Este tipo de propágalos es generalmente usado por los productores italianos, chilenos, mexicanos y actualmente por algunos productores nicaragüenses, acelerando la formación de la estructura vegetativa de la planta y la producción (Pimienta, E., et al, 1996), la variedad utilizada es sin espinas, sembrados a una distancia de 1 m entre surco (Gutiérrez y Hernández, 2007) y 0.5 m entre planta (Alonso y Cruz, 2006), esta siembra se realizó en junio del 2009.

La siembra fue manual a una profundidad de 25 cm enterrando la tercera parte del material vegetativo, quedando una buena parte para el rebrote en posición este oeste, (Orué, R. Rojas, E. 2008).

Se realizó limpia de maleza de forma manual creando óptimas condiciones para el cultivo evitando competencia en los primeros estados de crecimiento, posteriormente se realizó limpieza cada 30 días hasta finalizar el experimento.

La primera cosecha se realizó manualmente en febrero del 2010, únicamente se utilizó guantes para su recolección y depositados en bolsa de papel kraft, para ser llevadas al lugar de pesaje y medición localizado en las áreas perimetrales del experimento, tomando en cuenta aquellos que eran mayor de 10 cm de longitud, 60 – 100 gramos de peso, con buenas características organolépticas, coloración verde tierno y textura blanda, esta colecta se realizó en horas tempranas del día (temperaturas bajas) con el objetivo de beneficiar al nopalito las características de calidad de vida de anaquel (Ríos y Quintana, 2004).

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Variable de crecimiento

Número de brotes: Se tomaron como brotes todos los menores de 10 centímetros de longitud. Esta variable fue contabilizada por cada tratamiento cada 30 días después de los 360 – 540 dds (días después de la siembra) que corresponde al periodo en el que se realizó la toma de datos.

Eje mayor de brotes: La longitud se tomó desde la base del brote hasta el ápice del mismo. Se midió en centímetros llevando a cabo su control de crecimiento cada 30 días, en periodo definido 360 – 540 dds.

Eje menor de brotes: Se midió con una regla graduada en cm y se seleccionaron todos aquellos que median menos de 10 cm de longitud, tomando como punto de referencia la parte central, cada 30 días en el período correspondiente entre 360 – 540 dds.

Número de cladodios: Se tomaron en cuenta todos aquellos mayores de 10 cm de longitud, sin lignificación que correspondían al período específico entre 360 – 540 dds cada 30 días.

Eje mayor del cladodio: Se realizó con una regla graduada en cm desde la base del cladodio hasta la parte apical del mismo, en el periodo que va desde los 360 – 540 dds. Se tomó desde la base del cladodio hasta el ápice del mismo.

Eje menor del cladodio: Se midió en la parte central del cladodio con una regla graduada en cm, a los 360 dds, cada 30 días.

3.4.2. Variable de rendimiento.

Número de cladodios cosechados: Se cosecharon todos los cladodios comerciales que tenían longitud superior a 10 cm y que presentaban color verde claro, suavidad y terneza. Esto se hizo a los 360 dds cada 30, 60 y 90 días.

Eje mayor de cladodios cosechados: Se seleccionaron 5 cladodios al azar, se les midió la longitud con una regla graduada en cm desde la base de este hasta la parte apical del mismo, cada 30 días después de los 360 – 540 dds.

Eje menor de cladodios cosechados: Se midió en la parte central a cada uno de los cladodios seleccionados con una regla graduada en cm, cada 30 días después de los 360 – 540 dds.

Grosor de cladodios cosechados: Se seleccionaron 5 cladodios al azar con el vernier se les midió los cuatro lados del nopal, dando como resultado la media final en cm esto se realizó cada 30 días después de 360 – 540 dds.

Peso del cladodio cosechado: Se pesaron cada uno de los cladodios usando una balanza digital cada 30, 60 y 90 días según corresponda, después de los 360 dds, el resultado es en g (gramos)

3.4.3. Mortalidad.

Porcentaje de individuos encontrados muertos por acciones mecánicas o patógenas. Se hizo mensualmente y se tomaron en cuenta las plantas caídas totalmente, secas o con presencia de enfermedades.

3.4.4. Carbono

Peso fresco: Al finalizar el ensayo se tomaron 6 plantas por tratamiento y estas se dividieron en tres partes: cladodio, tallo y raíz, posteriormente se pesaron en una balanza digital en el laboratorio por separado.

Biomasa: Del total de peso fresco se tomaron 100g de cada una de las partes de la planta. La muestra fresca se colocó en el horno a una temperatura de 72 °C durante 72 horas, se pesó en una balanza digital obteniéndose de esta manera el peso seco de la muestra.

Captura de carbono en la planta: Se realizó mediante método destructivo con la fórmula propuesta por Brown y Lugo en 1984 en donde las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para las especies asumen el 50% como la fracción de carbono contenida en la materia seca. La fórmula es: $B_t = B_f + B_r + B_h$. Donde B_t : biomasa total, B_f : biomasa del fuste, B_r : biomasa de las ramas, B_h : biomasa de las hojas.

3.4.5. Rentabilidad económica. Se hizo a través del presupuesto parcial, según la metodología propuesta por el CIMMYT (1988). La metodología para realizar el análisis considera los siguientes indicadores:

Rendimiento medio: Expresado en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Se toman en cuenta todos los rendimientos medios de los tratamientos que se están evaluando.

Rendimiento ajustado: Fue el rendimiento medio reducido en un 10 % con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento.

Beneficio bruto: Se obtuvo a través del producto del rendimiento ajustado por el precio del producto al momento de la cosecha.

Costos variables: Implicaron los costos particulares de los tratamientos relacionados con los insumos comprados.

Beneficio neto: El beneficio neto se calculó restando el total de costos que varían del beneficio bruto de campo, para cada tratamiento.

Dominancia: Se ordenaron los costos variables de los tratamientos en orden ascendente con su respectivo beneficio neto. Se considera que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

Beneficios netos marginales: A los tratamientos no dominados se les calculó la diferencia o incremento de los beneficios netos al pasar de una tecnología a otra.

Costos variables marginales: Una vez realizado el análisis de dominancia a los tratamientos no dominados se les calculó la diferencia o incremento de los costos variables al pasar de una tecnología a otra.

Tasa de retorno marginal: Esta indica lo que el productor podrá esperar ganar, en promedio con su inversión cuando decida cambiar una práctica o conjunto de prácticas por otra, y es igual a la relación de los beneficios netos marginales sobre los costos variables marginales expresados en porcentaje.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Crecimiento del nopal.

4.1.1. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el número de brotes por tratamiento.

Esta variable refleja la producción de la plantación, ya que cada brote representa un cladodio próximo a cosecha, (Garay y Granera, 2011). Alonso y Cruz, (2006) cita que el número de brotes determinará la productividad por hectárea en un determinado período esto se debe a que cuando la plantación está generando más cladodios por planta, más rentable será la producción de nopalitos.

En la figura 1 se observa el comportamiento de la plantación en cuanto a la producción de brotes bajo diferentes dosis de vermicompost y la comparación del tratamientos en donde se presentaron diferencias estadísticas.

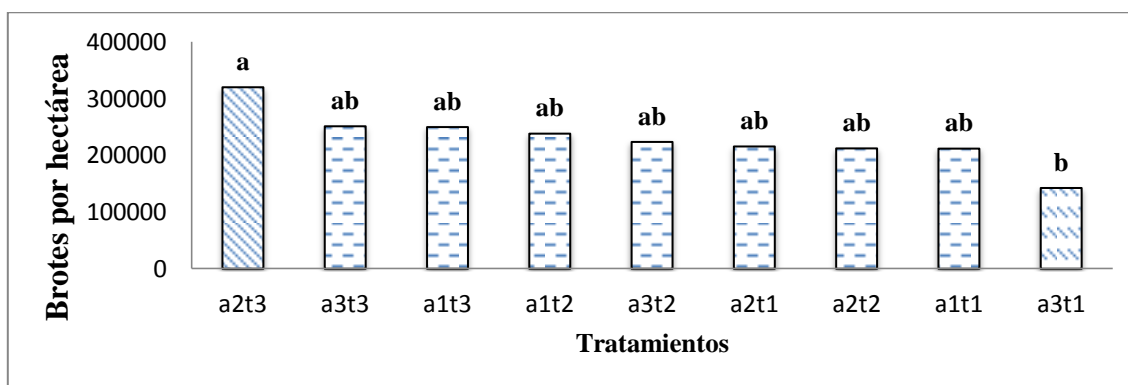


Figura 1. Número de brotes por hectárea, Managua invierno 2010

El ANDEVA según Tukey realizada al 99% de confianza demuestra que hay diferencias estadísticas entre los tratamientos estudiados, esta prueba los agrupa en tres categorías estadísticas, la primera con el tratamiento a_{2t3} con 320,000 brotes ha^{-1} , la segunda categoría compuesta por a_{3t3} con 251,200 brotes ha^{-1} , a_{1t3} con 249,800, a_{1t2} con 238,200 brotes ha^{-1} , a_{3t2} con 223,600 brotes ha^{-1} , a_{2t1} con 215,600 brotes ha^{-1} , a_{2t2} con 212,200 brotes ha^{-1} , a_{1t1} con 211,800 brotes ha^{-1} y como tercera categoría el tratamiento a_{3t1} con 142,400 brotes ha^{-1} .

Una vez analizada la figura 1 los mejores resultados se encuentran con la dosis de $15 t*ha^{-1}$ cosechando cada 90 días. Esto se debe a que la aplicación de vermicompost es alta y por consiguiente el N aplicado más el N que se encontró disponible en el suelo hacen que

el nopal tenga un mejor desarrollo, ya que (Pimienta, E., 1988), afirma que este elemento es importante por ser determinante para el crecimiento del nopal.

4.1.2. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje mayor del brote en el nopal.

Es una variable importante desde el punto de vista comercial, ya que es uno de los elementos principales que componen el índice de cosecha, y esto nos permite diferenciar entre los nopalitos a cosechar y los brotes.

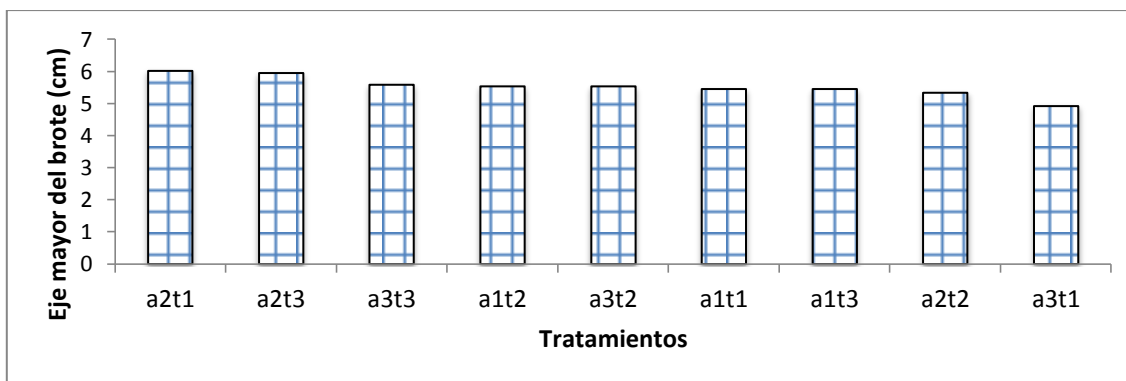


Figura 2. Eje mayor de brotes por hectárea, Managua invierno 2010

Según Kruskal Wallis al 99% de confianza no hubo diferencia estadísticas entre los tratamiento. Se obtuvo un rango entre 6.02 cm en el tratamiento a_{2t_1} y 4.93 cm en el tratamiento a_{3t_1} .

Según García *et al.*, (2000), la nutrición edáfica no tiene efecto significativo en cuanto al eje mayor del cladodio, ya que es directamente proporcional al área fotosintéticamente activa compuesta por el eje mayor y el eje menor.

4.1.3. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje menor del brote en el nopal.

Es una variable de gran importancia en el rendimiento del nopal, el peso del brote está determinado por su tamaño que resulta de la combinación de la longitud y el ancho. Es importante a la hora de la cosecha puesto que el valor de esto determina el tiempo que debe de cosecharse de 4 a 10 cm. (Blanco, et al, 2008)

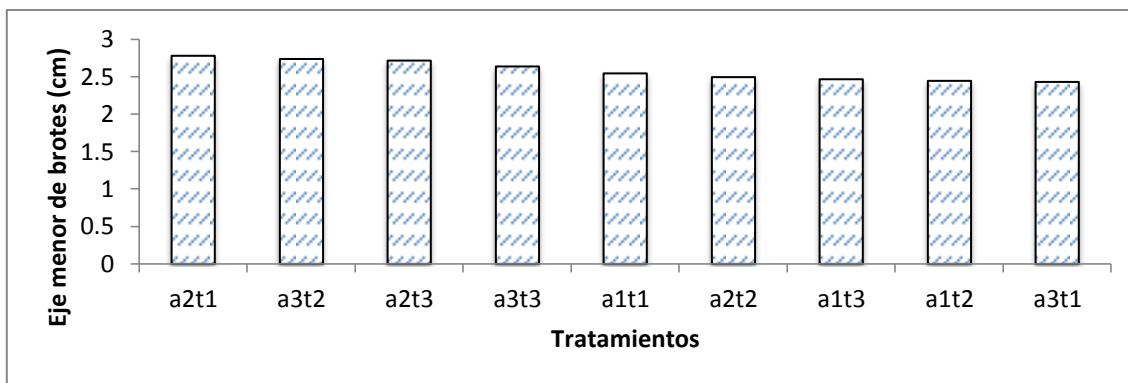


Figura 3. Eje menor de brotes por hectárea, Managua invierno 2010

Según Kruskal Wallis al 99% de confianza, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, obteniéndose un rango entre los tratamientos a_{2t_1} con 2.96 cm y a_{3t_1} con 2.5 cm.

El diámetro de brotes es una característica propia de cada variedad, por lo tanto no habrá diferencia numérica de gran peso o significancias cuando se sometan a evaluación individuos de la misma variedad en el cultivo del nopal. (Pimenta, E., 1997)

4.1.4. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el número de cladodios en el nopal.

Con respecto al número de cladodios por hectárea nos permite conocer la cantidad de nopales listos para la cosecha, por planta y por tratamiento.

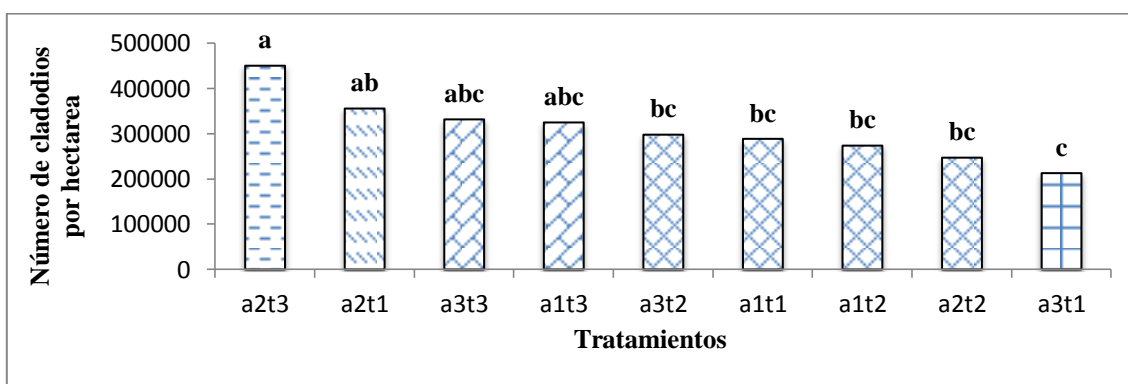


Figura 4. Número de cladodios por hectárea, Managua invierno 2010

El ANDEVA realizado a través de Tukey al 99% de confianza demuestra que hay diferencias estadísticas agrupadas en 5 categorías estadísticas. La primera con el tratamiento a_{2t_3} con 450,200 cladodios por hectáreas, la segunda con el tratamiento a_{2t_1} con 355,600 cladodios por hectárea, la tercera con el tratamiento a_{3t_3} con 331,600 cladodios por

hectárea y a_{1t_3} con 324,800 cladodios por hectárea, la cuarta categoría con los tratamientos a_{3t_2} con 297,800 cladodios por hectárea, a_{1t_1} con 288,600 cladodios por hectárea, a_{1t_2} con 273,600 y a_{2t_2} con 247,000 cladodios por hectárea y la quinta categoría con el tratamiento a_{3t_1} con 212,800 cladodios por hectárea.

Este análisis nos demuestra que los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de 15 t*ha^{-1} cosechando cada 90 días, tratamiento (a_{2t_3}), tomando en cuenta que nuestra investigación fue realizada en época de invierno podemos afirmar que la aplicación del vermicompost más las precipitaciones, estimularon la producción de cladodios ya que según Ríos y Quintana (2004), el agua es un recurso que permite el brote en el nopal. Nobel y Castañeda (1998), afirman que las raíces superficiales y extendidas captan el agua de lluvia y por otra parte inducen la formación de raíces secundarias, que aumentan la superficie de contacto con el suelo, lo que facilita la absorción de agua y de nutrientes. Kaush (1965), afirma que esta especie puede formar nuevas raíces dentro de las 24 horas posteriores al humedecimiento de un suelo seco.

Según Vásquez et al., (2008), el nopal por ser una planta rústica puede sobrevivir sin agua por largos períodos, sin embargo esto le provoca una fuerte deshidratación y reducción drástica en la producción de nuevos brotes o nopalitos, por esta razón si se quiere tener una explotación de nopal verdura, el riego debe de ser oportuno y sistemático para alcanzar altos rendimientos.

Según Chavarría et al (2001); el vermicompost es uno de los mejores abonos orgánicos que existen ya que es completo, equilibrado y de fácil manejo, conserva macro y micronutrientes, quien a su vez afirma que es un excelente regenerador orgánico, mejorando la características físico-químicas del suelo.

4.1.5. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje mayor de cladodios en el nopal.

Los cladodios son importantes desde el punto de vista industrial, ya que cuando los brotes son tiernos (10 – 20 cm), se usan para la producción de nopalitos y cuando están parcialmente lignificados (cladodios de 2 a 3 años), para la producción de harina y otros productos. Sáenz (2006).

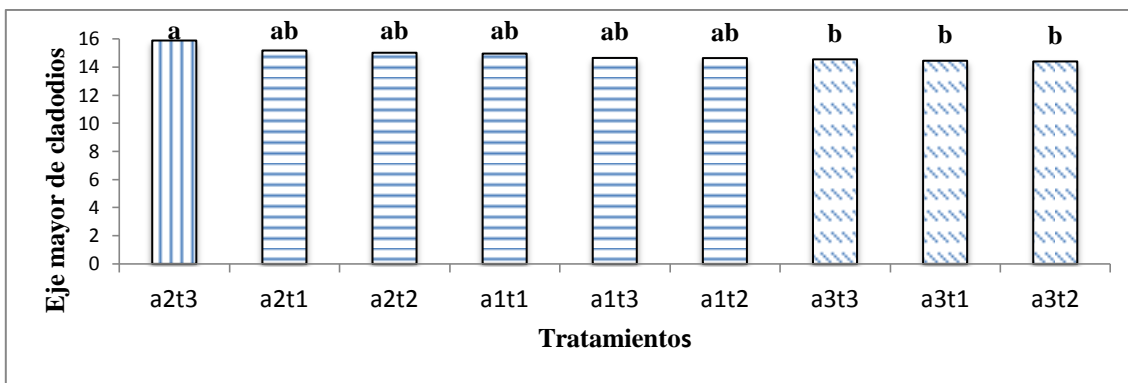


Figura 5. Eje mayor de cladodios por hectárea, Managua invierno 2010

La prueba de Kruskal Wallis con un 99% de confianza indica que hay diferencias estadísticas agrupando los tratamientos en tres categorías. La primera con el tratamiento a2t3 con 15.91 cm, la segunda a2t1 con 15.20 cm, a2t2 con 15.04 cm, a1t1 con 14.98 cm, a1t3 con 14.67 cm, a1t2 con 14.66 cm, la tercera categoría con los tratamientos a3t3 con 14.57 cm, a3t1 con 14.47 cm y a3t2 con 14.42 cm.

La figura anterior nos muestra que el tratamiento que se obtuvo los mejores resultados fue a2t3 con 15.91 cm en el eje mayor, con una dosis de 15 t*ha⁻¹ a los 360 dds.

Según Mirabelli (1995), el vermicompost proporciona al suelo mayor porosidad y aireación mejorando también la infiltración y favoreciendo el desarrollo radical; los nutrientes que la planta necesita se van liberando gradualmente, pues al mantener al pH dentro de un rango cerca de la neutralidad de 6 a 7 le permite una mayor solubilidad.

4.1.6. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje menor de cladodios en el nopal.

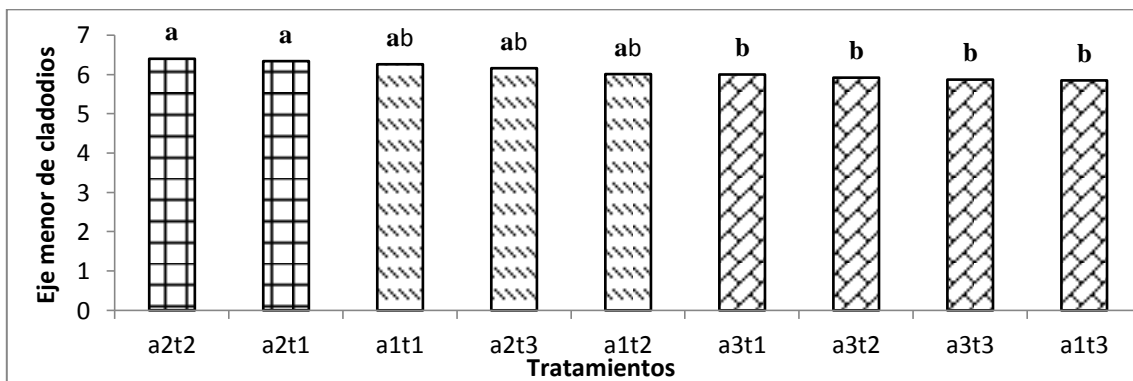


Figura 6. Eje menor de cladodios por hectárea, Managua invierno 2010

La prueba de Kruskal Wallis al 99% de confianza demuestra que hay diferencia significativa, dividiendo los tratamientos en tres categorías, presentándolos en el siguiente orden, la primera con el tratamiento a_{2t_2} con 6.40 cm de diámetro y a_{2t_1} con 6.34 cm, la segunda categoría con los tratamientos a_{1t_1} con 6.26 cm, a_{2t_3} con 6.16 cm, a_{1t_2} con 6.01 cm y la tercera categoría con los tratamientos a_{3t_1} con 6.00 cm, a_{3t_2} con 5.92 cm, a_{3t_3} con 5.87 cm y a_{1t_3} con 5.85 cm de diámetro.

Este análisis nos lleva a la conclusión de que el tratamiento a_{2t_2} con 15 t*ha^{-1} de vermicompost se obtienen los mejores resultados, el vermicompost provoca un desarrollo mejor a la planta aplicándola cada 2 meses, de esta manera con esta cantidad de abono se obtienen beneficios, mas producción y menor cantidad de mano de obra.

4.2. Rendimiento del nopal

4.2.1. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el número de cladodios en el nopal.

La mayor cantidad de nopal cosechado se obtiene en los meses donde el clima está muy húmedo comprendido entre los meses de (mayo a septiembre), la cosecha se lleva a cabo cuando los brotes alcanzan de 10 a 20 cm de longitud, con pesos de 100 a 120 g por cladodio, la cosecha se hace manualmente, los cladodios que se encuentran lignificados no son aptos para el consumo humano según Blanco *et al* (2008).

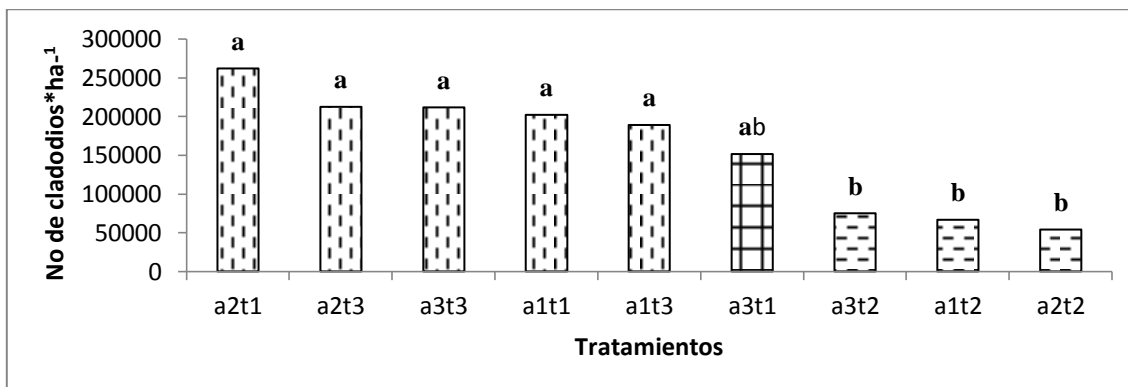


Figura: 7. Número de cladodios cosechados por hectárea. Managua invierno 2010.

El ANDEVA realizado en un 99% de confianza demuestra que hay diferencias estadísticas agrupándolas en tres categorías, presentándolas en el orden siguiente, la primer categoría que presento los mayores rendimientos fue el tratamiento a_{2t_1} con 262,000, seguido de a_{2t_3} con 212000, a_{3t_3} 211,600, a_{1t_1} con 201,800 y a_{1t_3} con 188,800 cladodios por hectárea

respectivamente, la segunda categoría con el tratamiento a_{3t_1} con 151,400 cladodios por hectárea y la tercera categoría comprende los tratamientos a_{3t_2} con 75,000, a_{1t_2} con 66,600 y a_{2t_2} con 54,000 cladodios por hectárea.

Según los datos analizados podemos decir que la aplicación de vermicompost influyó en el rendimiento del nopal, obteniéndose los mejores resultados con la aplicación de 15 toneladas por hectárea, esto debido a que este cultivo necesita de mínimas dosis de fertilización para su desarrollo, y al aplicar una dosis basada en sus requerimientos y de acuerdo a los análisis su desarrollo será el óptimo y por consiguiente sus rendimientos mayores. (Ver anexo 4)

El vermicompost es un abono orgánico con el que se obtiene una buena producción y alta calidad; además estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas y las vuelve más resistentes a las plagas y enfermedades. (Sequeira y Valle. 2004)

4.2.2. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje mayor del cladodio en el nopal.

Desde el punto de vista productivo es una variable importante, es uno de los elementos principales que componen el rendimiento, (Blanco *et al*, 2008)

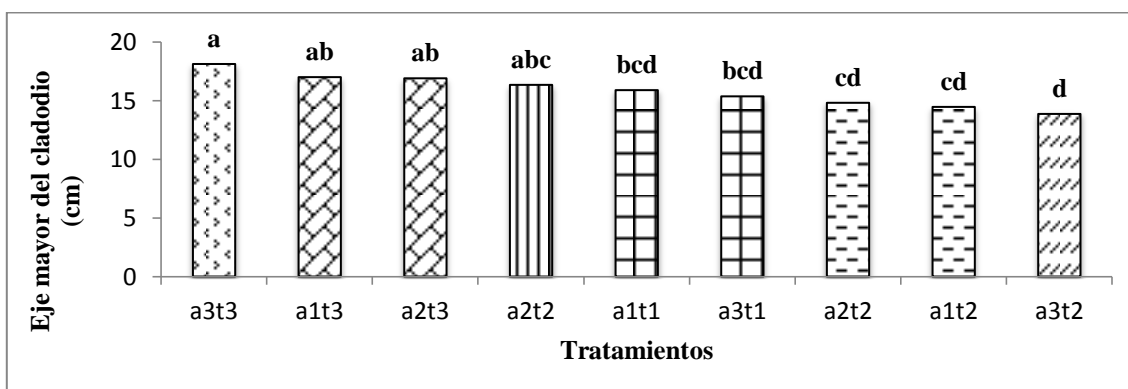


Figura 8. Eje mayor de cladodios cosechados por hectárea. Managua invierno 2010.

El ANDEVA realizado por Tukey al 99% de confianza demuestra que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos dividido en seis categorías. La primera con el tratamiento a_{3t_3} con 18.13 cm de longitud, la segunda categoría a_{1t_3} con 17.01 cm y a_{2t_3} con 16.91 cm, la tercer categoría con el tratamiento a_{2t_2} con 16.35 cm, la cuarta categoría

con los tratamientos a_{1t_1} con 15.90 cm, a_{3t_1} con 15.37 cm, la quinta categoría con los tratamientos a_{2t_2} con 14.82 cm y a_{1t_2} con 14.47 cm de longitud, y la sexta categoría con el tratamiento a_{3t_2} con 13.87 cm de longitud.

Según los resultados obtenidos, la aplicación de 20 t*ha^{-1} de vermicompost y cosechándolos cada 90 días presentó los mejores resultados con 18.13 cm de longitud; Cantwell de Trejo en 1992, afirma que los cladodios pueden cosecharse cuando midan 15 a 20 cm de longitud y un peso que oscile entre 80 y 120 g., coincidiendo con Corrales, F., 1993.

4.2.3. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el eje menor del cladodio en el nopal

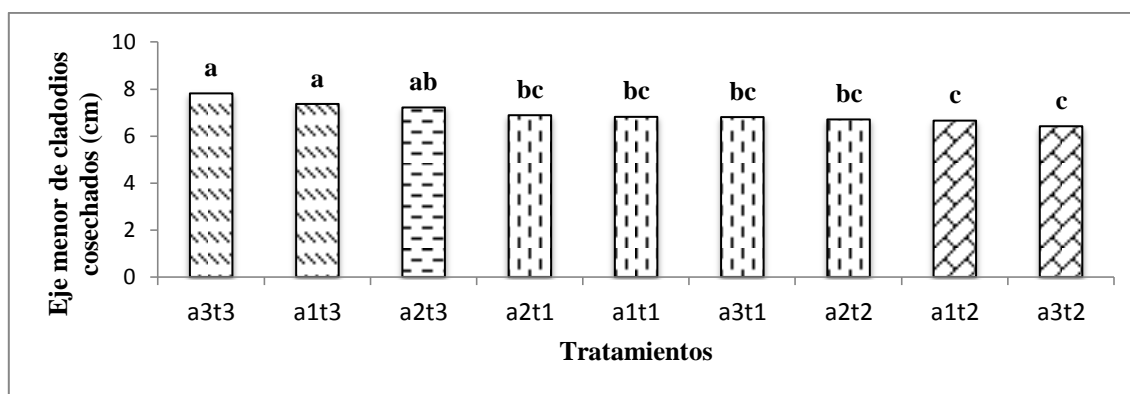


Figura 9. Eje menor de cladodios cosechados por hectárea Managua invierno 2010

Según el análisis realizado a través de Kruskal Wallis a un 99% de confianza, se identificaron cuatro diferentes categorías, la primera a_{3t_3} con 7.82 cm y a_{1t_3} con 7.37 cm de longitud, la segunda categoría a_{2t_3} con 7.22 cm, la tercera categoría comprendido por a_{2t_1} con 6.89 cm, a_{1t_1} con 6.82 cm, a_{3t_1} con 6.81 cm, a_{2t_2} con 6.71 cm, la cuarta categoría a_{1t_2} con 6.66 cm y a_{3t_2} con 6.42 cm respectivamente.

Por lo tanto este análisis nos indica que el tratamiento con la aplicación de 20 t*ha^{-1} con una cosecha cada 90 días, se obtienen los mejores resultados.

El diámetro de los cladodios se ve influenciado por la competencia de espacio y la necesidad de captar de manera eficiente la energía solar y nutrientes del suelo, las plantaciones con densidades de 0.5 a 1.0 metro de distancia entre surco presentan una mayor competitividad con las malezas por nutrientes y energía, (Blanco *et al.*, 2005).

El diámetro es una variable que determina el área foliar, de manera que al aumentar el diámetro de los cladodios, mayor será el área foliar e incremento del proceso fotosintético, produciendo mayor biomasa y rendimiento más altos (García, *et al.*, 2000).

Trabajos realizados en México por Malpica, A., (2010) revelaron que la longitud ancho y grosor del cladodio de las variedades de opuntia ficus indica aumentaron a través de todo el año, siendo mayor para algunas variedades en los meses de lluvia (invierno).

4.2.4. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre el grosor del cladodio en el nopal

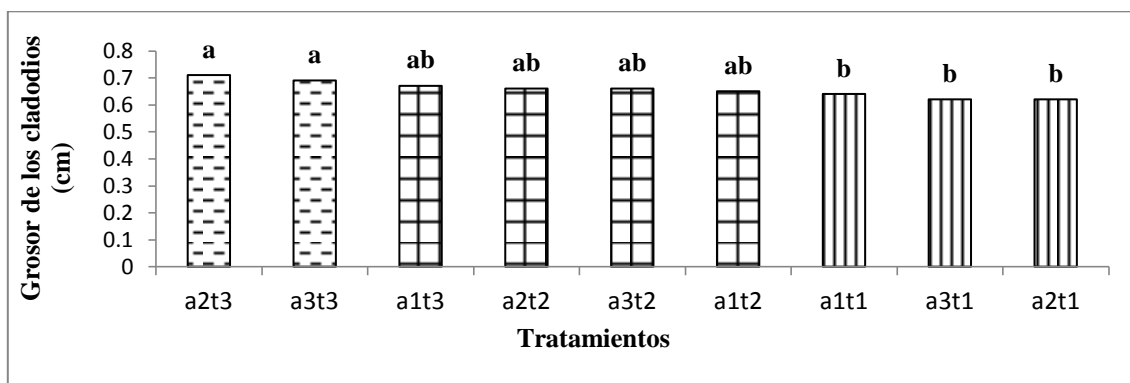


Figura 10. Grosor de cladodios cosechados por hectárea Managua invierno 2010.

Según el análisis estadístico realizado por la prueba de Kruskal Wallis analizado a un 99% de confianza se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos ordenándolos en tres categorías de la siguiente manera, la primera con los tratamientos a₂t₃ con 0.71 cm, a₃t₃ con 0.69 cm, la segunda categoría comprendido por los tratamientos a₁t₃ con 0.67 cm, a₂t₂ con 0.66 cm, a₃t₂ con 0.66 cm y a₁t₂ con 0.65 cm y la tercer categoría con los tratamientos a₁t₁ con 0.64 cm, a₃t₁ con 0.62 cm y a₂t₁ con 0.62 cm.

Los mejores resultados fueron con la aplicación de la dosis de 15 t*ha⁻¹ de vermicompost a una cosecha de cada 90 días.

Pimienta, E., (1999), asegura que esto se debe al mecanismo de reserva de nutrimentos que dispone la planta y a la presencia de cantidades de agua de reserva, lo que produce que el cladodio se vuelva más turgente y por lo tanto el grosor aumenta.

También el grosor de cladodios se ve influenciado con la frecuencia de cosecha, ya que el grosor natural aumenta el ápice hacia la base del mismo. (López, *et al* 2001).

4.2.5. Efecto de dosis de vermicompost sobre el peso del cladodio en el nopal.

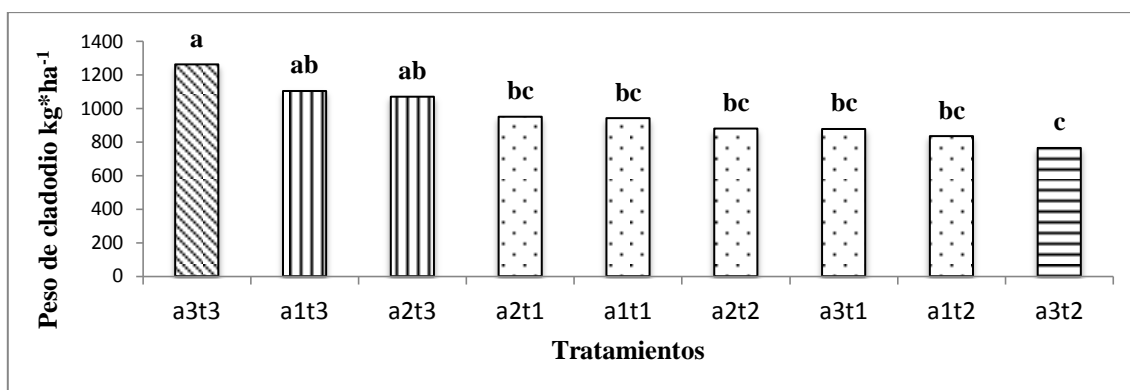


Figura 11. Peso de cladodios cosechados por hectárea Managua invierno 2010

El ANDEVA realizado a un 99% de confianza demuestra que hay diferencias estadísticas entre los tratamientos estudiados, agrupándolos en cuatro categorías estadísticas, la primera con el tratamiento a₃t₃ con un peso de 1263.2 kg*ha⁻¹, la segunda categoría a₁t₃ con 1104.4 kg*ha⁻¹, a₂t₃ 1070.4 kg*ha⁻¹, la tercer categoría con los tratamientos a₂t₁ con 951.00 kg*ha⁻¹, a₁t₁ con 942,6 kg*ha⁻¹, a₂t₂ con 880.4 kg*ha⁻¹, a₃t₁ con 877.8 kg*ha⁻¹, y a₁t₂ con 835,4 kg*ha⁻¹, y la cuarta categoría con el tratamiento a₃t₂ con 764.6 kg*ha⁻¹.

Según el análisis realizado podemos decir que el mejor rendimiento en cuanto al peso del cladodio se obtuvo con la aplicación de 20 toneladas de vermicompost por hectárea cosechándose cada 90 días, lo que indica que el cladodio con fertilizaciones altas tiene más peso, ya que el vermicompost cumple un rol trascendente al corregir y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. (EMISON, 2012)

4.3. Mortalidad.

La mortalidad es una variable que no se debe dejar pasar; puesto que la mortalidad influye al momento de contabilizar la producción final por ciclo.

La mayoría de las enfermedades se presentan en la época de invierno por la presencia de humedad a lo que favorece la presencia de enfermedades fungosas y bacterianas, (FAO 1999).

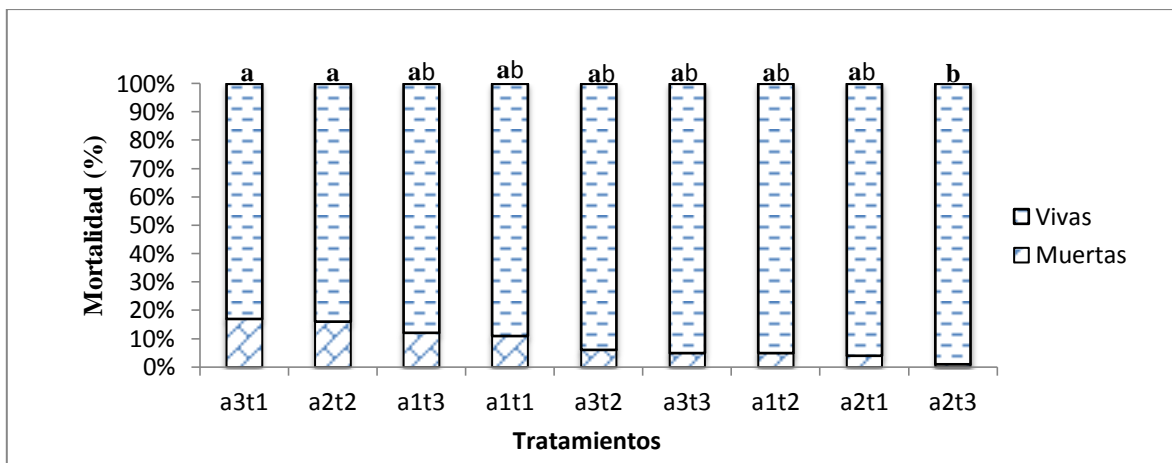


Figura 12. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre la mortalidad del nopal.

El ANDEVA analizado a un 99% de confianza indica que hay diferencias estadísticas entre los tratamientos estudiados, dividiendo esta variable en tres categorías, la primera a_{3t1} con 17% de plantas muertas, a_{2t2} con 16%, la segunda categoría correspondiente a a_{1t3} con 12%, a_{1t1} con 11%, a_{3t2} con 6%, a_{3t3} y a_{1t2} con 5%, a_{2t1} con 4%, y la tercer categoría a_{2t3} con 1% de plantas muertas; este análisis está basado en un área de 10 m x 22.5 m correspondiente a 225 m².

Considerando que el mejor tratamiento corresponda a la fertilización de 15 t*ha⁻¹ con una frecuencia de cosecha cada 90 días, con una cantidad mínima de plantas muertas por hectárea (800 plantas). Lo que indica que hubo menos daños mecánicos severos o rasgaduras a la planta, debido a que cuando se presenta estos problemas hay afectaciones de enfermedades fungosas y bacterianas, (Ríos y Quintana, 2004)

El vermicompost se caracteriza por aumentar la capacidad de retención de humedad en los suelos, facilitando las condiciones para el desarrollo de patógenos como la pudrición blanda, esto es influenciado por variables ambientales: concentraciones de O₂.

Temperatura, humedad relativa y estado hídrico del suelo (Glinski y Steoniewski, 1985; Taiz y Zeiger; 1991).

Según Granata (1999), la pudrición blanda de los cladodios esta frecuentemente asociada con la alteración bacteriana llamada mancha bacteriana, el proceso infeccioso evoluciona hasta que destruye todo el órgano; las enfermedades se desarrollan rápidamente en temperaturas de 20° a 35° C, acompañado de periodos de lluvias y alta humedad relativa.

La incidencia y severidad de las pudriciones puede llegar hasta un 90% lo cual causa reducción de la producción. (Méndez *et a.*, 2007)

4.4. Estimación de biomasa y fijación de carbono.

Se hizo mediante el método destructivo; lo cual consiste en medir los diámetros básicos de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través de su peso directo de cada uno de sus componentes (cladodio, tallo y raíz). MAGFOR, 2005

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) en 1996, establece que las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para las especies asumen el 50% como la fracción de carbono contenida en la materia seca, en caso de no existir datos disponibles. (IPCC, 2006)

Se utilizará la siguiente fórmula propuesta por Brown y Lugo (1984) para la estimación de biomasa $B_t = B_f + B_r + B_h$. Donde B_t : biomasa total, B_f : biomasa del fuste, B_r : biomasa del las ramas, B_h : biomasa de las hojas. Modificando la fórmula para la aplicación de estimación de biomasa en nopal quedará: $B_t = B_x + B_y + B_z$: Donde B_t : biomasa total, B_x : biomasa del cladodio, B_y : biomasa del tallo, B_z : biomasa de la raíz.

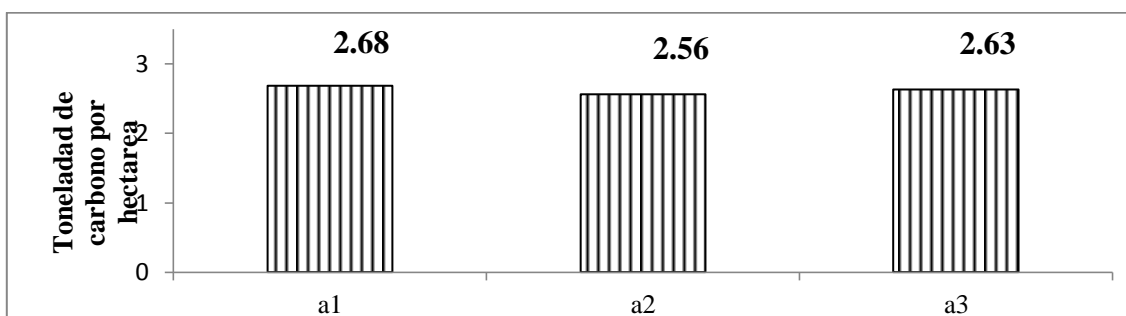


Figura 13. Efecto de tres dosis de vermicompost sobre la fijación de carbono en nopal.

Según el análisis realizado con la fórmula propuesta por Brown y Lugo (1984) y realizando los cálculos correspondientes se observa que el tratamiento en donde se aplicaron 10 toneladas de vermicompost fue el que obtuvo la mayor concentración de carbono, lo que nos indica que no es necesaria la aplicación de grandes cantidades de este fertilizante para obtener excelentes resultados.

Se tiene que en promedio los bosques tropicales almacenan 220 t C ha⁻¹, el bosque templado 150 t C ha⁻¹, para el bosque boreal 90 t C ha⁻¹, en pastizales de 15 t C ha⁻¹ y por último en tierras dedicadas a la agricultura 5 t C ha⁻¹ (Cairns y Meganck, 1994)

Estos datos nos indican que la cantidad de carbono fijada por el nopal está entre los rangos aceptables debido a que solo el almacena más de 2.5 toneladas de carbono por hectárea del promedio general que captan las tierras cultivadas.

El servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono beneficia a la comunidad local y nacional, pero es generalmente aceptado que los países desarrollados son los que más se benefician de ese servicio, al compensar la concentración de carbono en la atmósfera, producto de las emisiones de GEI (Gases del Efecto Invernadero). Actualmente, en las políticas y legislación del país para la protección del recurso forestal, se reconoce la importancia de la comercialización y diversificación de productos a través de la venta de servicios ambientales, entre ellos, el almacenamiento y fijación de carbono. (Segura *et al.*, 1999).

4.5. Análisis económico por presupuesto parcial

Cuadro 4. Datos generales del ensayo.

Tratamiento	Dosis (kg*ha ⁻¹)	Nº de aplicaciones (anuales)	Rendimiento(Nº de cladodios*ha ⁻¹)
a ₁ t ₁	10	6	1,210,800
a ₁ t ₂	10	6	199,800
a ₁ t ₃	10	6	377,600
a ₂ t ₁	15	6	1,572,000
a ₂ t ₂	15	6	162,000
a ₂ t ₃	15	6	424,000
a ₃ t ₁	20	6	908,400
a ₃ t ₂	20	6	225,000
a ₃ t ₃	20	6	423,200

Precio del vermicompost: C\$ 2.75/kg
 Precio de nopal en campo: C\$ 1/cladodio
 Densidad de planta: 20,000 plantas/ha
 Costo del día de trabajo: C\$ 120 día/hombre

Cuadro 5. Presupuesto parcial, Nopal invierno 2010

		Tratamientos (kg/ha ⁻¹)								
		a1t1 10t*ha ⁻¹	a1t2 10t*ha ⁻¹	a1t3 10t*ha ⁻¹	a2t1 15t*ha ⁻¹	a2t2 15t*ha ⁻¹	a2t3 15t*ha ⁻¹	a3t1 20t*ha ⁻¹	a3t2 20t*ha ⁻¹	a3t3 20t*ha ⁻¹
Cladodios* ha ⁻¹	Rendimiento	1,210,800	199,800	377,600	1,572,000	162,000	424,000	908,400	225,000	423,200
	Rendimiento ajustado	1,089,720	179,820	339,840	1,414,800	145,800	381,600	817,560	202,500	380,880
Beneficio bruto de campo C\$ ha ⁻¹		1,089,720	179,820	339,840	1,414,800	145,800	381,600	817,560	202,500	380,880
Costo del fertilizante C\$ ha ⁻¹		27,500	27,500	27,500	41,250	41,250	41,250	55,000	55,000	55,000
Costo de la aplicación C\$ ha ⁻¹		640	640	640	960	960	960	1,280	1,280	1,280
Costo de cosecha C\$ ha ⁻¹		15,120	7,560	5,040	15,120	7,560	5,040	15,120	7,560	5,040
Total de costos que varían C\$ ha ⁻¹		43,260	35,700	33,180	57,330	49,770	47,250	71,400	63,840	61,320
Beneficios netos C\$ ha ⁻¹		1,046,460	144,120	306,660	1,357,470	96,030	334,350	746,160	138,660	319,560

Para analizar los datos experimentales y obtener los costos y beneficios de los tratamientos del trabajo de investigación utilizamos el presupuesto parcial.

El cuadro 5 representa los 9 tratamientos, la primera representa los rendimientos medios por tratamientos, la segunda los rendimientos ajustados en 10% con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento, la tercer línea representa el beneficio bruto, esto resulta de multiplicar el rendimiento ajustado por el precio de un cladodio comercial. La siguiente parte incluye todos aquellos costos que varían por tratamiento; como el costo de los fertilizantes, costos de aplicación y costos de cosecha.

El total de los costos que varían resulta de sumar los costos de fertilizantes los costos de aplicación y los costos de cosecha. Los beneficios netos resultan de restarles al beneficio brutos los costos que varían.

Cuadro. 6 Análisis de dominancia.

Tratamiento	Dosis	Total de costos que varían C\$	Beneficios netos C\$	Dominancia
	(kg ha ⁻¹)			
a ₁ t ₃	10.00	33,180	306,660	ND
a ₁ t ₂	10.00	35,700	144,120	D
a ₁ t ₁	10.00	43,260	1,046,460	ND
a ₂ t ₃	15.00	47,250	334,350	ND
a ₂ t ₂	15.00	49,770	96,030	D
a ₂ t ₁	15.00	57,330	1,357,470	ND
a ₃ t ₃	20.00	61,320	319,560	ND
a ₃ t ₂	20.00	63,840	138,660	D
a ₃ t ₁	20.00	71,400	746,160	D

Este análisis de dominancia se realizó con la finalidad de dar a conocer a aquellos tratamientos que resultaron con menores beneficios netos.

CIMMYT (1988), un tratamiento resulta dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento que tiene costos más bajos. Se encontró dominancia dentro y entre los tratamientos.

Para realizar en análisis de dominancia nos ubicamos en la celda inferior de la cuarta columna, verifica en la columna "Beneficios netos C\$" Si hay un tratamiento o varios tratamientos con mayor beneficio neto en celdas superiores a su posición actual, si los hay deben considerarse dichos tratamientos (D) si no los hay son considerados no dominado (ND), CIMMYT ejercicios (1988).

Cuadro 7. Análisis Marginal.

Tratamientos	Total de costos que varían C\$/ha	Costos variables marginales C\$/ha	Beneficio neto C\$/ha	Beneficio neto Marginal C\$/ha	Tasa de retorno Marginal
a ₁ t ₃	33,180				
a ₁ t ₁	43,260	10,080	1,046,460		
a ₂ t ₃	47,250	3,990	334,350	-712,110	-178.47
a ₂ t ₁	57,330	10,080	1,357,470	1,023,120	101.50
a ₃ t ₃	61,320	3,990	319,560	-1,037,910	-260.13

$$TRM = \frac{\text{Beneficio neto marginal}}{\text{Costo marginal}} = X\%$$

$$TRM = \frac{a_2t_1 - a_2t_3}{a_2t_1 - a_2t_3} = X$$

$$TRM = \frac{1357470 - 334350}{57,330 - 47,250} = 101.50\%$$

La tasa de retorno marginal indica lo que el agricultor puede esperar ganar como promedio con su inversión cuando decide cambiar una práctica por otra. Se realiza esta operación para todos los tratamientos empezando por el menor costo hasta el mayor costo, para decidir si resultan aceptables para el agricultor.

En análisis marginal tiene como objetivo revelar como los beneficios netos de una inversión aumentan al incrementar la cantidad invertida; en nuestro caso al analizar nuestro tratamiento a_2t_1 el agricultor invierte C\$ 57,330 para compra de aplicación de vermicompost, el cual recupera lo invertido y obtiene beneficios netos adicionales de C\$ 1,023,120.

Con la realización de este análisis económico se demuestra que el mayor costo variable lo demuestra el tratamiento de $20t \cdot ha^{-1}$, cosechando cada 30 días con C\$ 71,400, los mejores resultados los obtuvo el tratamiento a_2t_1 correspondiente a $15 t \cdot ha^{-1}$ de vermicompost cosechados cada 30 días, con un beneficio neto de C\$ 1,357,470 y con costos de C\$ 57,330.

V. CONCLUSIONES

Los mejores resultados en la variable de crecimiento se obtuvieron con la aplicación de 15 t*ha⁻¹ cosechados cada 90 días, con respecto al número de brotes, número de cladodios y eje mayor de cladodios.

Los mejores resultados en el eje menor de cladodios se obtuvieron con el tratamiento de 15 t*ha⁻¹ cosechándose cada 60 días.

El mejor resultado en el número de cladodios cosechados se obtuvo con el tratamiento de 15 t*ha⁻¹ cosechándose cada 30 días; el eje mayor, eje menor y peso de cladodios cosechados se obtuvo con el tratamiento de 20 t*ha⁻¹ cosechándose cada 90 días, el grosor y la menor cantidad de plantas muertas con el tratamiento 15 t*ha⁻¹ con una frecuencia de cosecha cada 90 días.

La mayor concentración de carbono en el cultivo del nopal fue con la aplicación de 10 t*ha⁻¹ de vermicompost indicando que para obtener carbono almacenado no se necesita la aplicación de grandes cantidades de vermicompost, disminuyendo de esta manera los gases de efecto invernadero.

El tratamiento a₂t₁ (15 t*ha⁻¹ con frecuencia de cosecha a los 30 días) establece mayor rentabilidad económica con una recuperación de 101.50 % sobre lo invertido.

VI. RECOMENDACIONES

Aplicar 15 t*ha⁻¹ de vermicompost y cosechar a intervalos 30 días, para obtener mayor cantidad de cladodios comerciales cosechados y mejores rendimientos económicos al final de cada cosecha.

Establecer áreas demostrativas de nopal en diferentes regiones del país en donde se promueve el cultivo dada sus múltiples usos e importancia.

Plantar nopal en predios baldíos, contribuyendo de esta manera a la captura de carbono presente en el medio ambiente.

Proponer una cultura de consumo del nopal para mejorar la dieta alimenticia en las unidades de producción.

VII. LITERATURA CITADA

- Acuña, C.; Lara, C.; Reyes, G. 2001. Evaluación del comportamiento agronómico de 2 cultivares clonales de quequisque (*Xanthosoma sagittifolium*, L.), Schott, en condiciones de REGEN, UNA, Managua primera. Tesis Ing. Agr.. 35 p
- Alonso, B. y Cruz, O. 2006. Evaluación de diferentes densidades de siembra de nopal (*Opuntia ficus indica* L), en la comunidad de Buena vista Sur. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. UNA. 27 p.
- Blanco N. M., Landero, E. F. y Cruz, S. E., 2005. Adaptación del nopal *Opuntia ficus indica* (L.) en la zona seca de Diriamba, para la reproducción de cladodios verdura. LI Reunión anual PCCMA, Panamá.
- _____, Gutiérrez, C., Hernández, E. y Aráuz, E. 2007. Distancias entre surcos y su influencia sobre las malezas y el crecimiento y rendimiento del nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) en Diriamba, LIII Reunión Anual del PCCMCA. Antigua, Guatemala. 22 p.
- _____, Orúe, R. y Rojas, E. 2008. Efectos de enmiendas nutricionales en nopal (*Opuntia ficus indica* L), un recurso natural no explotado en Nicaragua. LIV Reunión Anual PCCMCA. San José, C.R. 284 pp.
- Brown, S; Lugo, A. E.1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*. 223:1290-1293.
- Cairns, M.A., Meganck, R.A, 1994. Carbon sequestration, biological diversity and sustainable development: integrated forest management. *Environmental Management* 18.
- Cantwell. M. 1992. Aspectos de calidad y manejo postcosecha de nopalitos. eds.: Salazar, S. y López, D. conocimiento y aprovechamiento del nopal. 5to congreso Nacional y 3er Internacional. Memoria de resúmenes. UACH. Chapingo, México. 110 pp.
- Chavarría *et. al.* (2001) investigación sobre lombricultura UNA Managua Nicaragua, no publicado
- CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México, D.F., MX. p 19-50.
- Corrales, F.1993. Descripción y análisis de cosecha y manejo fresco de nopalitos. In: Salazar, S y López, D. Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 5to Congreso Nacional y 3er Internacional. Memoria de resúmenes. UACH. Chapingo, México. 110 pp.
- EMISON (VERMICOMPOST). (En línea). Managua, NI. Consultado en 25 de mayo del 2012. Disponible en <http://www.emison.com/5105.htm>
- Flores, R. & García, P. 2003. Historia del Uso del Nopal en México y el Mundo. En: R. Samano (ed). Historia de la Agricultura en México. UACH. Chapingo, México.

- Garay, R.; Granera, F. 2011. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de vermicompost en el cultivo del nopal (*Opuntia ficus indica* L. Miller). UNA, Managua, NI. 27pp
- García, V., Teresa V. y Espinosa, M. 2000. Efecto de bio-abono 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, Chile. 96 pp.
- Glinski, J; Steoniewski. 1985. Soil aeration and its role for plants. CRC Pres. Boca Ratón, FL. 6 pp.
- Granata, G. 1999. Agroecología, cultivo y usos del nopal: Enfermedades bióticas y abióticas. In: Barbera, G. Inglese, P y Pimienta, E. eds. FAO, Producción y protección vegetal. Boletín 132. Pp. 115- 121.
- Gutierrez, C. y Hernández, A. 2007. Adaptación del nopal (*Opuntia ficus indica* L. Miller), para la producción de nopal verdura en la comunidad Buena Vista del Sur, Diriamba, Carazo. Tesis Ing. Agr. UNA. Managua, NI. 30pp
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, NI). 2009. Comportamiento Temporal de las Principales Variables Climatológicas. (En línea). Managua, NI. Consultado el 11 de feb. 2011. Disponible en:http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/36168/L897_Parte_3.pdf
- IPCC. 2002. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Cambio climático y Biodiversidad. OMM-PNUMA. Ginebra. Suiza. 77pp
- Kausch, W. 1965. Beziehungen zwischen wurzelwachstum, transpiration and CO₂ – Gaswechsil beieinigen kakteen. Plant, 66: 229 – 238.
- LABSA (Laboratorio de suelo y agua), 2009. Análisis de suelo para la Calera. Universidad Nacional Agraria. Managua. NI
- López et al. 2001. Poda y época de despunte en cladodios de nopal tunero, agrociencia Marzo-Abril Colegio de posgraduados. Texcoco MX.
- MAGFOR. 2005,. Potencial de plantaciones forestales y fijación de carbono en Nicaragua, 1^{ra} Edición. Managua NI. 178 p
- Malpica, A. 2010. Crecimiento de cactáceas introducidas en Angostillo, Municipio de Paso de ovejas, Veracruz, México. Colegio de Postgraduados, Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Veracruz MX. 44 p
- Melgarejo, P. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas.1^a Edición. Madrid, ES. Ed. Mundi-Prensa. 1,382 p.
- Méndez, J., Talavera, D., y García, E. 2007. Identificación y control de las enfermedades más comunes en el nopal. VI Simposio - Taller Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Sureste de México 7 y 8 de Diciembre 2007 Marini, N.L., México. Edición Especial 14- 2008. Revista Salud Pública y Nutrición.

- Mirabelli, E. 1995. Curso intensivo de lombricultura. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. p. 9-10. (en línea). Consultado 23 feb. 2002. Disponible en <http://www.dqingenieria.com/abono/images/lombrices/lombricesrojas.pdf>
- Molina J.I. y Paíz D. 2002. Almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles en el municipio de Matiguás, Matagalpa. Tesis. Managua, Nicaragua. 60 p.
- Nobel y Castañeda. 1998. Seasonal, light, and temperature influences on organ initiation for unrooted cladodes of the prickly pear cactus *Opuntia ficus indica* L. Amer. Soc. Hort. Sci. 123 (1): 47- 51 p
- Nobel, P. S., 1998. Biología Ambiental de agaves y cactus. Bot. Gaz.143: 219-224.
- Orúe, R. Rojas, E. 2008. Efecto de enmiendas nutricionales sobre el rendimiento del nopal (*Opuntia ficus indica* L), En Diriamba, Carazo, 2007. Managua, NI 29 p.
- Pimienta, E. 1988. El nopal tunero: Descripción botánica, uso e importancia económica. IN GERMEN, SOMEFI. N° 7, 1988. Texcoco, México. Pp 10-12.
- _____. 1990. Nopal Tunero. Universidad de Guadalajara, MX.120 p.
- _____, Muñoz, A.; Barbera, G. e Inglese, P. 1996. Domesticación de nopales tuneros (*Opuntia* spp). Y descripción de las principales variedades cultivadas. Agroecología, cultivo y usos del nopal. FAO, Roma, IT. Direccion de Produccion y protección vegetal. Pp. 71-72
- _____. 1997. El nopal en México y el mundo. In: cactácea, suculentos mexicanos. CVS publicaciones, México. p. 22.
- _____. 1999. El pitayo en Jalisco y especies a fines en México. Universidad de Guadalajara, Fundación Produce Jalisco, A.C. México. 234 p.
- Portal Forestal, 2009. (Lombricultura y aplicaciones de humus de lombriz), Portalforestal.com/informacion/informes-y-entrevistas/3000-lombricultura-y-aplicaciones-de-humus-de-lombriz.html(en línea), Granada ES. Cosultado. Mayo 2012
- Quintana, J; Blandon, J; Flores, A; Mayorga, E. 1992. Manual de fertilización para los suelos de Nicaragua. UNA-Consultora profesional indígena (INDOCONSUL S.A). Managua, NI. 54 p.
- Ramírez, H. 2006. Productividad primaria y calidad nutrimental de nopal (*Opuntia spp* y *Nopalea spp*) en condiciones intensivas. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 70 p.
- Rendón M. 2007. Prospectiva de la Producción Orgánica. Del Crecimiento Exponencial al Ordenamiento Gerencial. 6ª Exporgánicos y 2º Foro. Internacional Retos y Oportunidades para los Productores Orgánicos. Manejo Integrado de Plagas. CR.62p.
- Rios J. y Quintana V. 2004. Manejo general del cultivo de nopal. CP.Nº1. 2004. Chapingo. Mexico. Pp 19 – 21.

- Saenz. 2006. Los nopales como recurso natural. Pp. 1-6. In: Berger, H; Corrales, G; Galletti, L y García, V. eds. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios Agrícolas de la FAO, 162 P.
- Schuldt, M. 2003. Lombricultura teoría y práctica. Mundiprensa. Madrid, ES. 313 p.
- Segura M., Kanninen, M., Alfaro, M y Campos, J. J. 1999. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona Atlántica de Costa Rica, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 20 p.
- Sequeira, G; Valle, A. 2004. Evaluación de diferentes porcentajes de lombrihumus y suelo como sustrato en la producción de posturas de chiltoma (*Capsicum annum* L.) en bandejas para trasplante
- Somarriba, R.; Guzmán, F. 2004. Guía de lombricultura. Ed. F. Alemán. Managua, NI, Universidad Nacional Agraria. 18 p. (Guía Técnica 4)
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, California. 282-367.
- Vásquez, A. R; Valdez, C. R; Blanco, M. F. 2008. Riego y fertilización del nopal verdura. VII Simposio- Taller: Producción y aprovechamiento del nopal en el Noreste de México. 24 y 25 de octubre 2008. Mina, N.L, México. Universidad Autónoma, Nuevo León, México. 18 p.

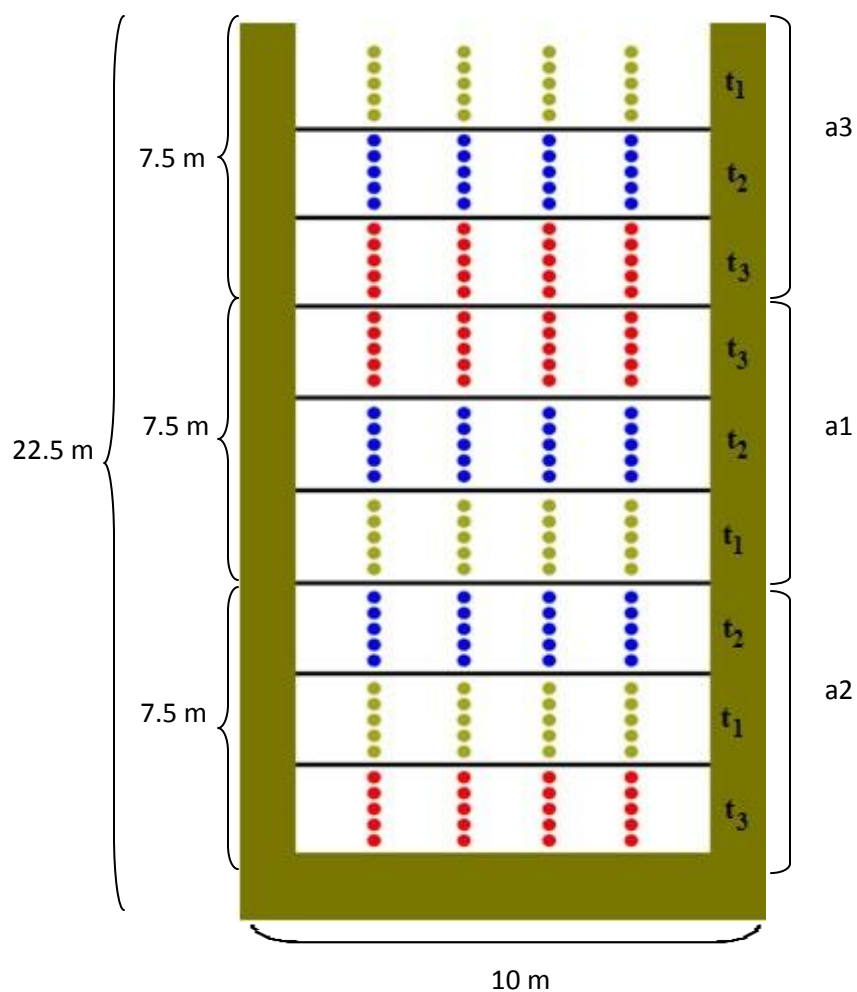
VIII. ANEXOS

Anexo 1. Tabla nutricional del nopal.

Valor nutritivo por cada 100 g de peso neto de nopal fresco	
CONCEPTO	CONTENIDO
Porción comestible	78.00
Energía (Kcal)	27.00
Proteína (gr.)	1.70
Grasas (gr.)	0.30
Carbohidratos (gr.)	5.60
Calcio (mg.)	93.00
Hierro (mg.)	1.60
Ti amina (mg.)	0.03
Riboflavina (mg.)	0.06
Niacina (mg.)	0.03
Ascórbico (mg.)	8.00

Fuente: http://www.giga.com/~mag/Tratado_Nopal.htm

Anexo 2. Diseño en campo.



Leyenda

t₁ – cosecha 30 días

t₂ – cosecha 60 días

t₃ – cosecha 90 días

a₁ – fertilización 10 t*ha⁻¹

a₂ – fertilización 15 t*ha⁻¹

a₃ – fertilización 20 t*ha⁻¹

Anexo 3: Concentraciones óptimas y rangos de suficiencia para *Opuntia ficus indica* L.

Nutrimento	Nutrimento (100% rendimiento)	100% rendimiento (kg/ Planta ⁻¹)	Rango de suficiencia (95% rendimiento)		95% rendimiento (kg /Planta ⁻¹)
			Inferior	Superior	
N	13.07	59.04	8.41	20.28	56.43
P	3.19	60.99	2.44	4.22	57.95
K	44.39	61.96	38.23	50.76	58.86
Ca	38.09	62.05	31.82	45.15	59.94
Mg	17.29	61.43	14.30	20.91	58.36

Fuente: <http://eprints.uanl.mx/2843/1/TesisDrFBM.pdf>

Anexo 4: Tabla de Beneficio/Costo de los tratamientos

Total de costos que varían C\$	Beneficios netos C\$	B/C
33180	306660	9.24
35700	144120	4.04
43260	1046460	24.19
47250	334350	7.08
49770	96030	1.93
57330	1357470	23.68
61320	319560	5.21
63840	138660	2.17
71400	746160	10.45