UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE DIFERENTES ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

GUILLERMO NIVEN MARTÍNEZ

ESCOBEDO, N.L. **JULIO 2022**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE DIFERENTES ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

GUILLERMO NIVEN MARTÍNEZ

ESCOBEDO, N.L. **JULIO 2022**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE DIFERENTES ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

GUILLERMO NIVEN MARTÍNEZ

ESCOBEDO, N.L. **JULIO 2022**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL

COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

_____

PhD. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Director de Tesis

_____

PhD. Emilio Olivares Sáenz
Co-Director de Tesis

_____

Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena
Asesor

_____

Dra. Ma. del Carmen Ojeda Zacarías
Asesora

_____

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Subdirectora de Estudios de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado especialmente a mi madre:

Ofelia Paula Martínez Barrios

Madre eres el pilar principal en la realización de este trabajo, con tus palabras de aliento, tu ejemplo de fe, de trabajo constante y honestidad, me levantaron en los momentos más difíciles y me hicieron continuar. Nunca es suficiente el agradecimiento hacia ti madre por tanto amor y dedicación a la noble causa de ser mi madre, solo que, después de no estar ya presente, añoro tus palabras y tus consejos que me diste siempre. Dondequiera que estés madre, te envió todo el amor y las palabras que no te pude decirte cuando estábamos juntos, te recordare siempre.

No puedo olvidar que caminamos juntos en momentos difíciles, la paciencia, el apoyo de tus palabras el cuidado y confianza que me diste, gracias hermano.

Leodegario Niven Martínez.

Tu ejemplo ha sido de mucha ayuda.

También quiero dedicar esta obra a mis hermanas:

María del Carmen, Bertha, Esperanza y Nidia

Quienes me han dado el sentido y razón de familia, su apoyo sincero y continuo me dieron esas gotas de esperanza necesarias para seguir.

A mis hermanos:

Jesús, Moisés, Juan

Los tengo siempre en mi corazón, aunque estemos luchando cada quien, por la vida en diferente forma, al final nos une la sangre de nuestra madre.

A Leticia Soto García, a quien conozco desde que era una jovencita y después de 40 años volvimos a cruzar nuestros caminos, mujer fuerte y carácter invencible, pero con un corazón noble y sincero que me enseñó a creer que existe esa persona especial en nuestra vida y que a pesar del tiempo se puede nuevamente reiniciar y nos conquistamos el uno al otro, para siempre.

A Miguel Soto García, que también ha formado parte de mi vida, desde mi infancia hasta el presente, quien ha celebrado mis aciertos, pero también ha sido un soporte muy importante en mis retos,

Gracias brother.

Y a ti, querido lector, espero que disfrutes la lectura de esta Tesis.

Aprendemos algo nuevo siempre.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS gran creador del universo y todopoderoso que nos guía a través de esta aventura que se llama vida.

Gracias por enseñarnos el camino a través de tu hijo Jesús que es camino del perdón y la sanación.

A ti un altar donde se manifiesta tu obra de grandeza en cada milagro.

Mi más sincero agradecimiento al Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado por creer en mí, por su dirección acertada, su apoyo profesional e incondicional, sus enseñanzas magistrales que me fueron brindadas durante la realización de este trabajo.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz, al Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena y a la Dra. Ma del Carmen Ojeda Zacarías, por formar parte del Comité de Tesis y por su apoyo profesional, sugerencias acertadas, su confianza y colaboración para el presente trabajo.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León y a CONACYT por brindarme apoyo económico. Gracias

A los maestros del Posgrado en Ciencias Agrícolas de la FAUANL, y al personal de campo por toda su ayuda en mi formación académica.

INDICE GENERAL

	ÍNDICE DE CUADROS	VIII
	ÍNDICE DE FIGURAS	X
	APÉNDICE DE BASES DE DATOS	XII
	RESUMEN	XIII
	ABSTRACT	XV
1	**INTRODUCCIÓN**	1
1.1	Justificación	2
1.2	Hipótesis y Objetivos	3
2	**REVISIÓN DE LITERATURA**	4
2.1	Importancia de la Producción del Nopal.	4
2.1.1	Taxonomía del nopal	5
2.2.	Antecedentes de la Producción del Nopal	6
2.3.	Factores que Afectan la Producción de Nopal Verdura	7
2.3.1	Temperatura	8
2.3.2	Humedad	8
2.3.3	Fertilización	9
2.4	Mineralización de Residuos Orgánicos	9
2.4.1	Fertilizantes nitrogenados	11
2.4.2	Fertilización del nopal	13
2.4.3	Relación carbono-nitrógeno	16
2.5	Consumo de Nopal Verdura	17
2.5.1	Propagación del nopal	17

3	**MATERIALES Y MÉTODOS**	18
3.1	Localización del Experimento	18
3.2	Diseño Experimental	18
3.3	Preparación del Área Experimental	19
3.4	Selección de Cladodios Madre	19
3.5	Aplicación de Abonos	20
3.6	Descripción de los materiales utilizados en los tratamientos	21
3.7	Aplicación de Riego	26
3.8	Analisis del Porcentaje de Cenizas de Compostas	27
3.9	Análisis de Textura de Suelo	28
3.10	Materia Fresca- Materia Seca	29
3.11	Análisis de Horas-calor en el Cultivo de Nopal	29
4	**RESULTADOS y DISCUSIÓN**	30
4.1	Cosecha de Nopalitos	30
4.2	Analisis de agua de riego	31
4.3	Análisis General de Micro y Macronutrientes Inicial de los Abonos Utilizados.	32
4.4	Raíces Primarias y Secundarias del Cladodio Madre	32
4.5	Análisis de Correlaciones de Raíces Primarias y Secundarias	34
4.6	Análisis de pH de los Tratamientos Utilizados	35
4.7	Análisis de Porciento de Materia Seca	36
4.8	Plagas y Enfermedades del Cultivo del Nopal	38
4.9	Análisis Estadístico de Variables Evaluadas	40

4.10	Producción de Nopalito en Base a las Horas Calor Diarias	43
4.11	Producción de Raíces Primarias y Secundarias	48
5	**CONCLUSIONES**	49
6	**BIBLIOGRAFÍA**	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Croquis de campo de unidades experimentales	19
Cuadro 2	Identificación de los tratamientos utilizados	21
Cuadro 3	Análisis de agua utilizada para el riego del experimento.	31
Cuadro 4	Análisis general inicial de los abonos utilizados en su composición de macro y micronutrientes.	32
Cuadro 5	Conteo de raíces del cladodio madre	33
Cuadro 6	Correlaciones de raíces primarias y secundarias y la producción de nopalito	35
Cuadro 7	Descripción de abreviaturas de variables de raíces de nopalitos	35
Cuadro 8	Análisis de pH de los tratamientos utilizados	36
Cuadro 9	Porciento de materia seca en la producción de nopalitos.	36
Cuadro 10	Análisis de macronutrientes en el peso seco de los nopalitos	37
Cuadro 11	Fecha en que fueron atacadas las unidades experimentales por la mancha negra, *Pseudocercospora opuntiae*.	39
Cuadro 12	Pruebas de correlación de peso del cladodio madre final y longitud de cladodio madre inicial variable dependiente: pcmfgr.	41
Cuadro 13	Comparación de medias con la variable dependiente= pcmfg, y como independiente= lcmicm	41
Cuadro 14	Orden decreciente de la comparación de medias del peso de cladodio madre en g.	41

Cuadro 15	Comparación de medias con la variable dependiente= acmfcm, y como independiente = lcmicm	42
Cuadro 16	Orden decreciente de la comparación de medias para la variable ancho de cladodio madre final	42
Cuadro 17	Coeficientes de regresión estimados, R2 y UC para obtener el máximo rendimiento.	46
Cuadro 18	Coeficientes de regresión estandarizados y porciento del efecto cuadrático.	47
Cuadro 19	Comparación de medias de tratamientos del peso de nopalitos	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Preparación del caldo bordelés para el tratamiento de las heridas causadas por los cortes de cladodios	20
Figura 2	Colecta y criba de suelo para el uso en macetas de esta investigación.	22
Figura 3	Leonardita en forma de piedra y polvo fino de las vetas del cabon.	22
Figura 4	Fuente de estiércol compostado por más de un año	23
Figura 5	Centro de procesamiento semicomercial de gallinaza	23
Figura 6	Procesado de lombricomposta de borrego utilizado en este experimento	24
Figura 7	Manejo y procesamiento en la obtención de humus de lombricomposta	25
Figura 8	Separación de lombrices de lombricompostas	25
Figura 9	Lixiviado de lombricomposta de bovino de Marín N L, utilizado para el tratamiento 7	26
Figura 10	Secado y tamizado de suelo y composta	27
Figura 11	Secado y obtención de cenizas para la determinación micronutrientes	27
Figura 12	Proceso de obtención de nitrógeno	28
Figura 13	Determinación de la textura del suelo utilizado	28
Figura 14	Procedimiento de la medición de los nopalitos frescos	29
Figura 15	Lavado de raices de los cladodios madre	33

Figura 16	Producción de materia seca de nopalito en base a cada tratamiento	37
Figura 17	Mancha negra del nopal *Pseudocercospora opuntiae*	39
Figura 18	Gusano telarañero *Loxomorpha flavidissimalis*	40
Figura 19	Temperaturas promedio de 52 semanas durante la producción de nopalitos	44
Figura 20	Producción de nopalito para cada tratamiento en función de las horas calor diarias.	45
Figura 21	Comparacion de numero de raíces primarias y secundarias total por tratamiento.	48

APÉNDICE DE LAS BASES DE DATOS

Cuadro 1A	Datos de cladodio madre inicial y final	59
Cuadro 2A	Datos de cosecha de nopalitos y horas calor	60
Cuadro 3A	Temperaturas mínimas y máximas para el cálculo de las horas calor.	61
Cuadro 4A	Datos de peso, largo, ancho y grosor de la producción de nopalitos	62
Cuadro 5A	Datos acumulados de raíces primarias y secundarias de los cladodios madre	63
Cuadro 6A	Datos de materia seca de nopalito muestreados en dos fechas diferentes. (28-03-21 y 5-09-21)	64

RESUMEN

El nopal verdura (*Opuntia ficus-indica)* es una de las especies que se pueden producir en diferentes regiones con climas variados en México, siendo un cultivo resistente a la falta de agua, bajo costo de producción y manejo que hace muy atractivo para los agricultores.

El objetivo del presente proyecto fue evaluar fertilizantes orgánicos en el nopal verdura en condiciones controladas. Se evaluaron siete tipos de abonos: leonardita, composta estable de vacuno, composta de gallinaza, lombricomposta de borrego, lombricomposta de vacuno, lixiviado de composta de vacuno y fertilización química y un testigo sin aplicación de fertilizante.

Los tratamientos fueron evaluados con un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue un contenedor de 19 litros, utilizando un cladodio madre por contenedor. Las variables evaluadas fueron: número de brotes, materia seca, rendimiento fresco y variables fenológicas como largo, ancho y grosor del nopalito, también fueron monitoreadas las temperaturas altas, promedio y bajas diariamente, durante el periodo de producción del experimento.

En la aplicación de materia orgánica con respecto al peso y ancho final del cladodio madre, se concluyó que existe un efecto significativo, así como en la producción de nopalitos. En cuanto a los sustratos orgánicos (gallinaza, estiércol bovino y ovino y sus lixiviados, lombricompostas y leonardita), se detectó que en general una lenta biodegradación lo que permite una mejor nutrición de las plantas por su aportación lenta de nutrientes. Con respecto a la cantidad de horas calor, se indica que los tratamientos con mayores máximos de horas calor fueron el T4 (gallinaza), seguido de

los tratamientos T2 (leonardita), T5 (lombricomposta de borrego) y T6 (lombricomposta de vacuno), se concluye, que estas son muy importantes en cada etapa de crecimiento de la planta de nopal, aún mejor cuando se combina con una buena nutrición. Lo que sugiere que el nopal tiene un efecto dependiente o estimulante de la temperatura para aumentar su rendimiento, siempre y cuando no tenga limitantes de nutrientes y agua.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica, composta, leonardita, gallinaza, lixiviado*

ABSTRACT

The nopal vegetable (*Opuntia ficus-indica)* is one of the species that can be produced the most in different regions with varied climates in Mexico, being a crop resistant to the lack of water, and due to its low cost of production and management, it is very attractive to farmers.

The objective of this project was to evaluate the organic fertilizers in the nopal vegetable under controlled conditions, from planting to production of tender pads.

Seven treatments with seven types of organic fertilizers and a treatment control were evaluated, which are the following: leonhardite, cow compost, chicken compost, sheep vermicompost, cow vermicompost, leachated cow compost and chemical fertilizer.

The treatments were evaluated under a randomized complete block design, with four replications, the experimental unit was a mother cladode planted in a 19-liter bucket. The evaluated variables were: number of nopalitos (tender pad), dry matter, fresh yield and phenological variables such as nopalitos' length, width and thickness, high, average and low temperatures were also monitored daily, during the production period of the experiment.

In the application of organic matter with respect to the final weight and width of the mother cladode, it was concluded that there is a significant effect, as well as in the production of nopalitos. Regarding the organic substrates (chicken manure, bovine and ovine manure and their leachate, vermicompost and leonardite), it was detected that in general a slow biodegradation which allows a better nutrition of the plants due to its slow contribution of nutrients.

Regarding the amount of heat hours, it is observed that the treatments with the highest maximum heat hours were T4 (chicken manure), followed by treatments T2 (leonardite), T5 (lamb vermicompost) and T6 (beef vermicompost). In general, the same results obtained with the quadratic regression coefficients. It is concluded that these are very important in each stage of growth of the nopal plant, even better when combined with good nutrition. This suggests that nopal has a temperature-dependent or stimulating effect to increase its yield, as long as it does not have nutrient and water limitations.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*, cow *compost, leonhardite, chicken compost, leached*

1. INTRODUCCIÓN

Opuntia ficus-indica, conocido comúnmente como nopal verdura, forma parte de la familia Cactáceas, con aproximadamente 377 especies utilizados para consumo humano, como alimento para ganado o en diferentes industrias. El nopal es común en regiones donde existe falta de agua y temperaturas extremas, es decir están expuestas a un estrés abiótico. Este tipo de plantas ayudan a prevenir la extrema desertificación, favoreciendo a la conservación de suelos (Reyes-Agüero *et al.*, 2009; Pérez-Torrero *et al.*, 2017).

El nopal se cultiva utilizando abonos o compostas, permitiendo con ello un desarrollo sostenido de brotes que se transforman en nopalitos de tamaño comercial, motivo por el cual los fertilizantes sintéticos han venido en desuso con respecto a la nutrición de la planta. El propósito de esta investigación fue evaluar materiales composteados, así como combinaciones de estos, los cuales pueden dar buenos resultados en el rendimiento de nopal verdura. Por otro lado, la materia orgánica mejora la capacidad de retención de humedad del suelo, esta humedad complementa las necesidades hídricas durante el crecimiento de los nopalitos.

En la actualidad el nopal es un cultivo que ha incrementado su aceptación en los mercados internacionales, las especificaciones en cuanto a calidad, tamaño, contenido de humedad y otros atributos, son bastante estrictos, por un lado, debido al tiempo que el producto tarda en llegar al consumidor, y por otro, debido a las regulaciones de cada país (Maki *et al*., 2015).

1.1 Justificación:

Los abonos orgánicos se han utilizado desde los inicios de la agricultura, los conocimientos del uso de estos abonos han pasado de generación en generación debido a los resultados observados en la producción de cultivos, por lo que fueron experimentando diferentes cambios y prácticas para mejorar esos resultados.

La producción industrial de fertilizantes químicos, el transporte hacia las áreas agrícolas y su aplicación implican la quema de combustibles fósiles, la cual origina la emisión de dióxido de carbono, esto ocasiona el efecto invernadero, agravando y alterando el ciclo de los cultivos (Sadeghian *et al.*, 2015).

Los fertilizantes se lixivian fácilmente, ya que son percolados a mayor velocidad con la que la planta los puede asimilar, las cantidades de químicos que llegan a los mantos acuíferos son una tercera parte de lo que se aplica, algunas veces hasta la mitad, causando problemas irreparables al medio ambiente (Arellano *et al*., 2016). Tanto los nitratos como los fosfatos que se lixivian, llegan a parar a lagos y ríos que son fuente de agua para comunidades y a los océanos. La eutroficación es el resultado final de esta acumulación de químicos que va a causar el crecimiento de grandes poblaciones de algas en la superficie del agua, obscureciendo el área y causando la muerte de muchos organismos y microorganismos, afectando con ello la biodiversidad (Webb *et al*., 2010).

Cuando se utilizan fertilizantes químicos, como ejemplo los nitrogenados y fosfatados, son directamente responsables de que, tanto el ciclo bioquímico de

nitrógeno como el del fósforo causen un desequilibrio en el límite planetario, al introducir estos químicos hacia los ecosistemas (Ferrari, 2018).

Otro problema causado y muy evidente con el uso excesivo de estos químicos es que se ha observado, la acidificación de suelos y el ensalitramiento, afectando el crecimiento y la producción de las plantas.

Al aplicar este tipo de fertilizantes por mucho tiempo y en monocultivos, se afecta la fertilidad, la composición estructural del suelo y las poblaciones de microorganismos benéficos encargados de descomponer la materia orgánica del suelo.

El Colegio de Postgraduados analizaron y encontraron que 94 millones de hectáreas están siendo afectadas con problemas severos de degradación, a causa de este tipo de actividades de la agricultura (Guzmán, 2018).

1.2 Hipótesis y Objetivos

Hipótesis General

El efecto de la acumulación de las horas calor y la mineralización de las compostas aplicadas, es afectada por los diferentes tipos de materiales que la constituyen y su proceso de degradación a través del tiempo, modifica el rendimiento de los cultivos.

Hipótesis específicas

1. El efecto de la materia orgánica, al aportar nutrientes al suelo, afecta la producción y varía de acuerdo a la fuente que la produce.
2. La producción de nopalito es afectada por las horas calor acumuladas y el tipo de abono aplicado.

Objetivo General

Caracterizar compostas de diferentes tipos de residuos y monitorear el efecto de las horas calor en el cultivar de nopal Villanueva, (*Opuntia ficus-indica*).

Objetivos Específicos

1. Cuantificar el rendimiento de nopalito y sus características químicas de acuerdo a las diferentes enmiendas orgánicas aplicadas.
2. Evaluar el efecto de las temperaturas (horas calor), sobre el estímulo de crecimiento y rendimiento del nopal

Por lo anterior, el propósito de esta investigación fue, determinar cuál es la composta que ofrece mayor rendimiento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la Producción del Nopal

El nopal contiene vitaminas, por mencionar algunas, A, B, B6, C y K, la clorofila, además contiene algunas proteínas y es una fuente de fibra (Santos, 2015). Lo anterior muestra lo valioso que es el nopal para mejorar o mantener la salud del ser humano, debido a que es una fuente de nutrientes que apoyan al sistema inmunológico, y que contribuyen a mejorar el funcionamiento del sistema glandular, nervioso, circulatorio, respiratorio y digestivo (López, 2018).

2.1.1Taxonomía del nopal verdura

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Tribu: Opuntiae

Género: Opuntia

Subgénero: Opuntia

Especie: O. ficus-indica (L.) Mill., 1768

En la actualidad, en la ciudad de México, específicamente en Milpa Alta, existe un sistema de producción de nopal muy especializado (Wacher, 2006; Velasco, 2014); El cultivo de esta especie representa una alternativa saludable para la dieta alimenticia, tanto para humanos como animales (INEGI, 2007).

La importancia del nopal radica en sus bajos costes de producción, debido a su fácil adaptabilidad a diferentes zonas climáticas. El ganado es alimentado con esta planta por sus altos niveles de palatabilidad y digestibilidad, asociados con un alto contenido de agua que reduce la necesidad de suministrar agua a los animales (Flores, 2015).

Se han encontrado diferencias entre variedades en cuanto al contenido de fibra, cantidad de carbohidratos y proteína (INEGI, 2007). El consumo del nopal debe ser

fresco para aprovechar al máximo el beneficio nutricional. Al procesarlo pierde parte de su valor nutricional (Mosqueda *et al*., 2016)

Para la nutrición mineral del nopal verdura se debe de considerar una alternativa que esté al alcance de los productores, desarrollando así proyectos independientes de insumos agrícolas. Asimismo, es necesario contar con una metodología capaz de diferenciar la calidad de fertilizantes, compostas y demás fuentes de nutrientes (Guevara-Figueroa *et al*., 2010).

2.2 Antecedentes de la Producción del Nopal

El nopal se produce en México desde antes de la conquista, por lo que existe gran diversidad de sistemas de producción de este cultivo, así como diferentes formas de consumo. En la actualidad este cultivo se sigue explotando, siendo los principales estados productores en México: Jalisco, Puebla, Baja California, Distrito Federal, Durango, Morelos, Aguascalientes, Estado de México, y Colima (SAGARPA, 2014).

En el 2013, en México se cultivaron más de 80,000 hectáreas de nopal, de las que aproximadamente 50,000 fueron de tuna, 13,000 de nopal y 17,000 a la producción de forraje. Con un valor de más de 3.5 millones de pesos (SAGARPA, 2015).

El nopal es fuente de ingresos para muchos agricultores que viven en zonas áridas o semiáridas que no cuentan con los recursos necesarios para una agricultura tecnificada. El rol ecológico del nopal, específicamente en la degradación del suelo deforestado, es sumamente importante, se puede afirmar que, puede convertir tierras improductivas en tierras nuevamente productivas (SAGARPA ,2015)

Existen lugares muy importantes en la producción de nopal en México, como la delegación de Milpa alta, en esta región la producción de la cactácea rápidamente se orientó a la comercialización, y su éxito ha sido tal que provee más del 80 % de la demanda de la república mexicana (INEGI, 2007). Entre los factores que contribuyeron al éxito se encuentran las condiciones favorables agroecológicas que presenta la región para su cultivo, la disponibilidad de tierra, baja inversión de capital, Los pueblos productores de nopal son: San Francisco Tecoxpa, San Lorenzo Tlacoyucan, San Jerónimo Miacatlán, Villa Milpa Alta, San Agustín Obtengo y San Pedro Atocpan (INEGI, 2007).

El mercado, tanto nacional como internacional del nopal, ha aumentado en importancia económica en los últimos 30 a 40 años. México, por su tradición ancestral, es un país consumidor de nopal verdura, pero también es un país exportador a varios países de este producto, debido a la gran cantidad de variedades y la versatilidad de recursos agroclimáticos (Flores, 2015).

2.3. Factores que Afectan la Producción de Nopal Verdura.

El cultivo del nopal se puede limitar por tres razones: a) la abundancia o carencia de humedad, b) la carencia de nutrientes y c) las temperaturas bajas que llegan a quemar las yemas de crecimiento. A pesar de esto, en México, se ubican zonas ecológicas extensas donde se pueden establecer su cultivo y desarrollo de vegetación natural (nopaleras) con buenos resultados.

Para los productores, como es un cultivo de cielo abierto, está a expensas a los cambios de clima, esto crea incertidumbre por depender de las condiciones agroclimáticas. Otro factor importante que genera esta incertidumbre al productor

es la oferta y la demanda, teniendo que realizar prácticas culturales al cultivo para reducir el crecimiento cuando la oferta es excesiva y el precio muy bajo. En muchas ocasiones es preferible perder la venta y tener que reincorporar la producción al terreno (Sánchez, 2018).

2.3.1. Temperatura

El metabolismo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) permite a la planta alcanzar la máxima productividad fotosintética con temperaturas diurnas de 25 ^{o}C y nocturnas de 15 ^{o}C. Temperaturas diurnas o nocturnas más altas inducen una fuerte reducción de la asimilación de carbono, que se asocia con crecimiento pobre de la planta, reducción de la producción y eventualmente bajo valor de la cosecha (Nobel, 2002).

Las temperaturas mayores a 30 °C reducen más del 50% de la fotosíntesis que consecuentemente reducirán la producción, así como la firmeza y el contenido de azúcares del fruto. Las temperaturas altas durante el desarrollo del fruto tienen un efecto opuesto al causado por las bajas temperaturas (Inglese *et al*., 2018)

2.3.2. Humedad.

A pesar de que el nopal es un cultivo muy resistente a la sequía, regularmente puede reducir su capacidad de producción cuando no existe suficiente humedad en el suelo, algunas veces el cladodio madre aborta los nopalitos frescos como una reacción de defensa para sobrevivir. La cantidad y tamaño del fruto es afectado severamente cuando falta agua en la planta (Varela-Gámez *et al*., 2014)

2.3.3. Fertilización

El análisis de la composición química de cada una de las compostas es esencial para poder identificar la cantidad de nutrimentos aplicados por hectárea, especialmente encontrar el contenido de N, P, K (nitrógeno, fósforo y potasio).

La aplicación de abonos químicos u orgánicos tiene que estar fundamentada en el análisis de lo que se tiene en el suelo y así hacer aplicaciones de acuerdo a la necesidad del cultivo y a su etapa fenológica.

Se han desarrollado experimentos para determinar las dosis y el tipo de fertilizante más efectivo, como el experimento reportado por Vázquez y Gallegos (1995), ellos utilizaron productos de origen animal y vegetal en donde se concluyó que los abonos orgánicos (tanto marino como terrestre), tienen un efecto positivo en la producción y otras variables relacionadas con el rendimiento de la cosecha de nopalitos.

2.4 Mineralización de Residuos Orgánicos.

La mineralización es un proceso importante en el proceso de aprovechamiento de nutrientes de la materia orgánica. Este proceso se lleva a cabo a través de la degradación de la materia orgánica por microorganismos del suelo, el cual depende de las condiciones ambientales tanto aeróbicas o anaeróbicas (Andreu *et al*., 2006).

Formas inorgánicas de nitrógeno (Correa-Galeote *et al*., 2013).

amonio (NH_4^+) = se origina durante la degradación biológica del nitrógeno contenido en compuestos orgánicos.

nitrito (NO_2^-) = Se forman por la oxidación del N en el amonio.

nitrato (NO_3^-) = Se forma en la oxidación del N en la nitrificación.

óxido nitroso (N_2O) = se genera en el proceso de desnitrificación y se encuentra sólo en solución y en sus sales, los nitritos.

óxido nítrico (NO) = es utilizado en el cuerpo humano, dilata las células musculares para que reciban nutrientes.

nitrógeno elemental (N_2) = nitrógeno molecular, asi se encuentra en la atmosfera. Importante en el proceso de producción de amoniaco (Fassbender, 1993; Correa *et al*., 2013).

Cuando se enfrentan a una escasez de oxígeno (O_2), muchas especies bacterianas pueden cambiar de la respiración de O_2 a utilizar nitrato o sus óxidos de nitrógeno derivados para apoyar la respiración en un proceso conocido como desnitrificación. Durante este proceso, el nitrato soluble en agua se convierte en gases que contienen nitrógeno gaseoso. Estos son (a) óxido nítrico (NO), citotóxico y que agota la capa de ozono, (b) óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero potente y de larga duración, y (c) el relativamente inerte gas de nitrógeno (N_2). La desnitrificación se lleva a cabo por más de 60 géneros de bacterias (Correa *et al*., 2013).

Los iones nitrito y nitrato se pueden encontrar en forma libre en el suelo. La forma amónica, en su mayor parte, se encuentra como amonio intercambiable y solamente en pequeñas proporciones en la solución del suelo (Follett, 2001).

La transformación de los residuos tanto vegetales como animales se conoce como mineralización. Los dos procesos importantes que participan son la mineralización primaria, proceso aerobio y la humificación anaerobia, produce humus.

Para que se realice la mineralización se necesitan microorganismos, los cuales, a través de descomponer la materia orgánica, inmovilizan y mineralizan el nitrógeno,

fósforo y azufre. Al suceder esto se liberan los nutrientes que las plantas necesitan. Algunos nutrientes no son absorbidos por las plantas, pero son retenidos por estos microorganismos (Dimas *et al*., 2001).

La relación Carbono/Nitrógeno es muy importante a la hora de elegir un abono orgánico. Compostados con una relación menor de 25 es recomendable, mayor a este, contribuye a una disminución de oxígeno en la zona radicular (Acosta, *et al.*, 2019).

2.4.1. Fertilizantes nitrogenados

La planta, al pasar por sus diferentes etapas fenológicas, recibe el nitrógeno para su desarrollo, de los fertilizantes nitrogenados. Cuando aplicamos cualquier tipo de fertilizante se debe conocer la dosis exacta que se tiene que aplicar y la etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo. Los avances tecnológicos en la automatización de las aplicaciones de fertilizantes y pesticidas, han hecho estas aplicaciones efectivas, evitando sobre aplicación. Los sistemas de fertiirrigación, programación de riego y abonado, ayudan a aplicar las dosis exactas, en el momento adecuado y dirigido a la planta de nuestro interés (Rincón, 2007).

Desde los inicios de la agricultura los abonos orgánicos han sido considerados muy eficaces en la agricultura tradicional, ya que han ayudado a aumentar la producción (Nobel, 2002).

Las condiciones del suelo se mejoran con la presencia de materia orgánica y los microorganismos que la componen (Webb *et al*., 2010). Algunos de estos microorganismos se consideran patógenos para el ser humano. Existe un

procedimiento que puede ser utilizado que es llamado compostado. Este proceso ha sido usado para eliminar estos patógenos en un determinado tiempo en el cual interviene la temperatura creada por las reacciones de conversión de la materia orgánica (Roman *et al*., 2013). Al compostarse el estiércol, estará en condiciones de alimentar a las plantas eficientemente, pero sin contaminarlas. El compostado de cualquier estiércol de animal eliminara cualquier olor que expiden antes de este proceso, es importante considerar las proporciones de C/N para evitar olores excesivos. El estiércol de caballo es bajo en olor, pero los estiércoles de bovino y de gallina se necesitan agregar carbono durante el compostado ya que emiten fuertes olores (Roman *et al*., 2013). Algunos materiales con alto contenido de carbono son la paja, hojas de plantas o aserrín. Al incorporar partes iguales de estos materiales con el estiércol, se reducirán grandemente estos olores (Moreno-García *et al*., 2017).

El fertilizante orgánico no tiene uniformidad en cuanto a la proporción de nutrientes. Para ejemplificar, el contenido de nitrógeno de los estiércoles de los diferentes animales depende esencialmente del animal, su alimentación, del proceso de compostado, como se ha almacenado y recolectado. Es difícil predecir cuantos nutrientes se están aplicando, a pesar de la degradación de los nutrientes es lenta en el compostado, tenemos que tener cuidado de cuanto se aplica para evitar dañar las plántulas (Rincón, 2007).

2.4.2 Fertilización del nopal.

Independientemente de si el nutriente se requiere en grandes o pequeñas cantidades, si la planta no tiene suministro suficiente, el crecimiento de la planta estará limitado por ese nutriente. Este principio se conoce comúnmente como la Ley de Liebig, que establece que el nivel de crecimiento de las plantas no puede ser mayor que el permitido por la mayor limitación de todos los factores esenciales de crecimiento de las plantas.

Estiércol.

El estiércol de ganado bovino que aún no se ha compostado contiene una gran cantidad de contaminantes, esto en los establos principalmente, al lixiviarse a los mantos de agua subterráneos (Olivares *et al*., 2008).

Los estiércoles mayormente utilizados son del ganado bovino, porcino, equino, caprino, ovino y de aves. Son el fertilizante orgánico (biofertilizante) de mayor uso, aportando nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo y mejora los suelos agrícolas. Estos aportan principalmente nitrógeno y materia orgánica a los suelos, (Guzmán, 2018).

Lombri-compostas

La lombricomposta es obtenida al realizar la cría y reproducción de la lombriz de tierra, al alimentarse de los desechos de la materia orgánica. Esta práctica se ha intensificado en tiempos recientes por los beneficios que aporta, ya que se utilizan todo tipo de estiércoles, que son muy buen alimento para las lombrices. Las excreciones y el lixiviado de las lombrices es el subproducto que contiene un alto

contenido de nutrientes. Estos dos subproductos efectúan las mismas funciones que un compostado (Guzmán, 2018).

Gallinaza

Existen unas cantidades diversas de contaminantes del agua, suelo y atmosfera que son ocasionados por los residuos avícolas e incluye, malos olores, gases irritantes, otros como salinidad, patógenos peligrosos para la salud, eutroficación, lixiviación, por mencionar algunos. El utilizar correctamente estos desechos ayuda a evitar este tipo de problemas (Mullo, 2012).

El estado de madurez y contenido de nutrientes del estiércol de corral, compostados con 0.1 % y 0.05 % de estiércol de pollos se concluyó que, el tiempo de apertura del compost fue mejor después de tres meses cuando es de color negro, se presiona en la mano y se siente esponjoso donde el volumen total se reduce, sin embargo, el peso unitario aumenta debido a los compuestos mineralizados que son fijados por el humus, además, el pH favorable del compost es neutro a ligeramente acido y garantiza la segura aplicación al suelo. Las adiciones de dosis alta de estiércol de pollo dan valores altos de N, P, K y mejora el índice de biodegradación (Elbasher, 2004).

La gallinaza favoreció la formación radicular en la reproducción asexual del nopal en un experimento desarrollado por Mateus, (2018). Se sembraron cladodios completos, cladodios cortados en dos partes y cladodios cortados en cuatro partes. Se aplicaron cuatro dosis diferentes de gallinaza. Los cladodios completos formaron raíces más rápido.

Leonardita

El origen de la leonardita es el lignito, este es un carbón mineral de color pardo que se utiliza como combustible en centros térmicos. Fue descubierto por el geólogo de nombre A.G. Leonard. Una de las características más importantes de la leonardita es la corrección de suelos que están perdiendo su fertilidad, dando una mejor estructura, oxigenación y retención de agua, ayudando al desarrollo de las raíces de las plantas (González *et al*., 2018)

Los ácidos húmicos de alguna forma son indicadores de la captación de nutrientes por las plantas. Un efecto estimulante de estas sustancias en el crecimiento de las plantas es la mejora de la absorción de nutrientes principales como: nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K). Cuando las sustancias húmicas adecuadas están presentes en el suelo se reduce la necesidad de la aplicación de fertilizantes N, P, K. A medida que el nivel de sustancias húmicas en los suelos se agota, la demanda de mayores concentraciones de N, P, K aparece (Gutiérrez *et al*., 2014).

Problemas del alto contenido de sal en el estiércol

A pesar de que los abonos orgánicos funcionan de una forma excelente, no hay que olvidar que se producen una gran cantidad de sales con ellos, esto obedece a que los animales al ser alimentados con excesos de sal, para que ganen más peso al comer con exceso, se refleja en altos contenidos de sal en el estiércol, que finalmente pueden dañar o matar a las plantas.

En regiones con altas precipitaciones, esta sal puede lixiviarse, pero en regiones de baja lluvia si se acumulan, crean un serio problema para las plantas (Elbasher, 2004).

Lixiviados de lombricomposta

Los lixiviados existen y se han utilizado por los agricultores por varias generaciones, solo que no se han hecho muchas investigaciones ni se ha obtenido los grandes beneficios de estos a gran escala. Los lixiviados se consideran como un abono líquido, se producen como resultado de la percolación de los nutrientes a través de los sólidos, el lixiviado lleva consigo nutrientes esenciales para las plantas, que no pudieron unirse a las partículas de suelo. En la agricultura se utilizan los lixiviados en forma foliar, resultando en niveles de producción significativos (Nahuat, 2016).

2.4.3 Relación carbono-nitrógeno

La relación Carbono-Nitrógeno es importante debido a que más alta sea será mayor el problema. El tipo de estiércol tiene diferente relación. También entre más alta sea la relación, más tiempo se tardará en descomponerse el estiércol (Price *et al*., 2002). Si registramos una relación C/N de 10:1 en un suelo podemos decir que el suelo está en sus óptimas condiciones para sembrar, si tenemos una relación alta, esto quiere decir que hay un exceso de materia orgánica no descompuesta, mientras que una relación C/N menor de 10:1 indica una mayor nitrificación en el suelo (Cegarra *et al.,* 2006).

Fertilizantes-químicos

Los fertilizantes sintéticos, así como también los naturales, que no vienen de desechos orgánicos, son productos comerciales que han sido utilizados para incrementar el rendimiento de los cultivos, pero causan efectos secundarios al ser humano y medio ambiente. Algunos químicos naturales los extraen de yacimientos

como salitre, cloruro de potasio y también la roca de fósforo. Los fertilizantes sintéticos los elaboran compañías de agroquímicos utilizando sales minerales de los elementos básicos N-P-K (Guzmán, 2018).

2.5. Consumo de Nopal Verdura.

El caso de nopal verdura tiene ventajas similares a las del fruto dulce, la diferencia más grande e importante comparado con los vegetales verdes como la lechuga o la espinaca, es que estos últimos no sobreviven a altas temperatura, a escasez de agua o baja nutrición y el nopal si sobrevive a condiciones extremas y en forma abundante. En el Sistema de Información Agropecuario (SIAP) para el caso del nopal se reconocen tres categorías, Nopal Verdura (nopalito), Nopal Forrajero, Nopal Tuna. No hay otra forma más detallada de concentrar información de la diversidad de usos que en la práctica se tienen, de las cantidades de superficie sembrada y de la cosechada, el valor del producto y su variación territorial (Sánchez, 2018).

2.5.1. Propagación del nopal.

Comúnmente la mayoría de los vegetales de hoja se reproducen con semilla, aunque el nopal se produce en forma más efectiva y rápida asexualmente, de esta forma, se acorta el ciclo de producción y a la vez no se expone al nopal a una germinación deficiente. La propagación del nopal solo requiere de tener una porción del cladodio, plantarlo, dejando que algunas yemas queden expuestas al suelo para

crear raíces y otras hacia el ambiente para que se generen brotes (Vázquez y Gallegos, 1997).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Localización del Experimento

El experimento se llevó a cabo en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FA-UANL) Campus Marín, la altitud de esta localidad es de 375 msnm y está situada a 25° 53’ de latitud norte y los 100° 03’ de longitud oeste. La plantación del experimento se realizó el 31 de octubre 2020. En Marín, N. L. los veranos son largos, muy calientes y opresivos; los inviernos son cortos, frescos y secos y está parcialmente nublado durante todo el año. A través de todo el año, el rango de temperatura es de *9* a *36 °C,* pero es común tener temperaturas menores de *3 °C* o mayores de *39 °C* (Vázquez *et al*., 2005; Vázquez, 2003).

3.2 Diseño experimental.

Para este experimento se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (Cuadro 1). Para las variables que presentaron diferencias significativas se utilizó el método de Tukey en la comparación de medias. Se efectuó un análisis de covarianza a los datos obtenidos utilizando como covariables el peso inicial, así como las dimensiones de largo, ancho y grosor, de los cladodios madre, esto

obedece a las diferencias numéricas de dichas variables. Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 19 para los análisis finales.



Cuadro 1. Croquis de campo de unidades experimentales

R1T8	**R1 T6**	**R1 T4**	**R1 T1**	**R1 T5**	**R1 T7**	**R1 T3**	**R1 T2**
R2 T2	**R2 T3**	**R2 T5**	**R2 T4**	**R2 T8**	**R2 T7**	**R2 T6**	**R2 T1**
R3 T8	**R3 T2**	**R3 T3**	**R3 T5**	**R3 T1**	**R3 T4**	**R3 T7**	**R3 T6**
R4 T2	**R4 T3**	**R4 T4**	**R4 T5**	**R4 T7**	**R4 T6**	**R4 T1**	**R4 T8**

T: Tratamiento y R: Repetición

3.3 Preparación del Área Experimental

Se removió todo tipo de hierba y desperdicio de material en el área, y se despejo un área aproximada de 6 m x 10 m para acomodar las 32 macetas que se utilizaron para el experimento. Teniendo el área despejada y limpia, se procedió a seleccionar el suelo adecuado para el experimento. El suelo provenía del área del banco de germoplasma de nopal del campo experimental Marín. El suelo fue acarreado con carretilla hasta el área del experimento, ahí se procedió a cribarlo para eliminar todo tipo de materiales no deseables para el cultivo.

3.4. Selección de cladodios madre

Cladodios del cultivar Villanueva con más de 1 año de crecimiento fueron seleccionados, en el área del banco de germoplasma de nopal de Marín, la longitud

de los cladodios seleccionados fue de 25 a 30 cm y de 15 a 20 cm de ancho, y su rango de peso se encontraba entre 800 a 1200 g por cladodio, procurando que fueran sanos, sin daños de ningún tipo y bien conformados. Al material seleccionado, se le dio un tratamiento con caldo bordelés, el cual consistió en 500 g de sulfato de cobre y 1.5 kg de cal en 10 litros de agua (Figura 1). Posteriormente se dejaron a la sombra por un periodo de 15-20 días, asegurando la cicatrización de los cortes para evitar alguna posible pudrición.



Figura 1. Preparación del caldo bordelés para el tratamiento de las heridas causadas por los cortes de cladodios (Vázquez *et al*., 2005).

3.5 Aplicación de Abonos.

La aplicación de los abonos en los tratamientos se hizo en una sola dosis y al momento de sembrar los cladodios madre (Cuadro 2). El tratamiento de lixiviado se aplicó al momento de cada riego en una proporción de 1 litro de lixiviado por 10 litros de agua. Los cálculos se efectuaron en base a una población de 20,000 plantas/ha, lo que representaría aproximadamente dos plantas por metro cuadrado, con una

aplicación de 10 $t \cdot ha^{-1}$ y una proporción de 500 g por maceta/planta. Únicamente en el caso de leonardita (5 $t \cdot ha^{-1}$), la cual es un material derivado del carbón, con un nivel bajo en nitrógeno, pero, rico en ácidos húmicos y fúlvicos con alta capacidad de intercambio iónico (CII), se aplicaron 250 g por maceta.

3.6 Descripción de los materiales utilizados en los tratamientos:

Cuadro 2. Identificación de los tratamientos utilizados

T1=	Testigo
T2=	Leonardita
T3=	Estiércol (vacuno)
T4=	Gallinaza
T5=	Lombri-composta (borrego)
T6=	Lombri-composta (vacuno)
T7=	Lixiviado) composta de vacuno
T8=	Fertilización química

Tratamiento 1: En este caso no se le aplicó ningun tipo de abono para que fuera el testigo absoluto, utilizando el suelo original (Figura 2). El sustrato utilizado se colectó del área del banco de germoplasma, se cribó y se preparó para mezclarse con cada tratamiento. Se mantuvo por 2 días en secado para eliminar cualquier residuo de humedad, se tamizó y se analizó utilizando 1 kg de suelo.



Figura 2. Colecta y criba de suelo para el uso en macetas de esta investigación.

Tratamiento 2: Consistió en el uso de suelo como material base, mas la aplicación de leonardita en una dosis correspondiente a 5 $t \cdot h^{-1}$ lo que representa una aplicación de 250 g por maceta en una poblacion de 20,000 plantas/ha (Figura 3).



Figura 3. Leonardita en forma de piedra y polvo fino de las vetas del cabon (Mula, 2012; Payeras, 2022).

Tratamiento 3. Se aplicó estiércol bovino no lombricomposteado, para su evaluación con la lombricomposta (Figura 4). En general, las compostas de estiércol bovino comúnmente se preparan utilizando estiércol fresco de establo con presencia de residuos de paja y/o residuos de podas de pasto (Guzmán, 2018).



Figura 4: Fuente de estiércol compostado por dos años (Vázquez *et al*., 2003).

Tratamiento 4, conformado con la aplicación al suelo de gallinaza a razón de 10 t ha^{-1}, la cual se obtuvo del centro de procesamiento de gallinaza en Marín, en este centro, se recibe la gallinaza y se limpia de contaminantes, a través de un proceso de separación de residuos y se esteriliza a una temperatura de 60 ºC, por medio de calentamiento de la gallinaza en un horno de bandas móviles, eliminando bacterias contaminantes que pudiera causar algún problema de salud. Cuando termina el proceso la gallinaza está esterilizada y lista para empacarse y para su comercialización (Figura 5).



Figura 5: Centro de procesamiento semicomercial de gallinaza.

Tratamiento 5. Consistió de lombricomposta de borrego a razón de 10 t ha^{-1} del suelo original, el cual se obtuvo del mismo productor de gallinaza de Marín. El manejo de la lombricomposta de borrego fue similar al manejo que se le dio a la lombricomposta de vacuno, con respecto a la humedad y temperatura (Figura 6).



Figura 6: Procesado de lombricomposta de borrego utilizado en este experimento.

Tratamiento 6. se utilizó el humus de lombricomposta de bovino que tenía una antigüedad de 2 años con estiércol bovino, y posteriormente se separaron las lombrices de la lombricomposta (Figura 7 y 8). El material antes mencionado se secó a la sombra y se colectó suficiente muestra para analizar y para su aplicación a las unidades experimentales.



Figura 7: Manejo y procesamiento en la obtención de humus de lombricomposta (Vázquez *et al*., 2005).



Figura 8: Separación de lombrices de lombricompostas

Tratamiento 7. Consistió de la aplicación del lixiviado de lombricomposta de bovino, el cual fue procesado en Marín a la par que los otros abonos y se utilizó a una razón de 1 litro de lixiviado por 10 litros de agua, con una periodicidad de un riego por semana en sus cuatro repeticiones correspondientes (Figura 9).



Figura 9: Lixiviado de lombricomposta de bovino (Vázquez *et al*., 2005).

Tratamiento 8. Consistió en una aplicación de fertilizante químico en una relación de N-P_2O_5-K_2O de **80-60-50**, kg ha^{-1}. Los fertilizantes utilizados fueron MAP (Fosfato Mono Amónico) (NH_4) H_2PO_4, Nitrato de Potasio (KNO_3) y urea CH_4N_2O

Fuentes de fertilizante	**N**	**P**	**K**
94.63 kg de MAP (NH_4) H_2PO_4	11.35	57.73	0
113.63 kg de Nitrato de potasio (KNO_3)	14.77	2.27	50
117 kg de Urea CH_4N_2O	53.88	0	0
Total, en kg ha^{-1}	80	60	50

3.7 Aplicación de Riego

El riego inició con aplicaciones cada 15 días, durante la época de temperaturas bajas y por ser un suelo arcilloso. Posteriormente, durante la semana 12 las temperaturas se incrementaron y los riegos se realizaron semanalmente.

3.8 Análisis del Porcentaje de Cenizas de Compostas

Para determinar el porcentaje de cenizas, se procedió a secar las muestras (1kg) por dos días, se tamizaron y se etiquetaron (Figura 10).



Figuras 10. Secado y tamizado de suelo y compostas

El carbono orgánico se obtuvo por diferencia de peso de ceniza, contra su peso inicial, después de exponer las muestras a 500 °C por 4 horas utilizando una mufla Furnace 1500 (Figura 11)



Figuras 11. Secado y obtención de cenizas para la determinación micronutrientes.

La determinación de la relación C: N, primeramente, se determinó Nitrógeno por el micro Kjeldahl, y carbón orgánico por el método Walkley-Black se determinó la relación. Carbón-Nitrógeno (Figura 12).



Figuras 12. Proceso de obtención de nitrógeno

3.9 Análisis de Textura del Suelo

La textura de la muestra de suelo se determinó por hidrómetro de Bouyoucos separando las partículas de arena, limo y arcilla (Pérez *et al*., 2010; Medina *et al*., 2007) (Figura 13).



Figura 13. Determinación de la textura del suelo utilizado

3.10 Materia fresca/ Materia seca

Después de cosechar los nopalitos se registró los valores del peso fresco, largo, ancho y grosor, (Figura 14, estos datos originales también se pueden observar en el Cuadro 6A del Apéndice), después se cortaron en trozos pequeños y se introdujeron en una estufa de secado marca Dalvo TDE a 65 °C durante dos días, para determinar el peso seco y posteriormente calcular el porcentaje de materia seca.



Figura 14. Procedimiento de la medición de los nopalitos tiernos.

3.11 Análisis de horas calor en el cultivo de nopal

El análisis de horas calor (HC) se determinó entre la relación de horas calor acumuladas y el rendimiento, donde se ajustaron por medio de regresiones no lineales para cada tratamiento, mediante el siguiente modelo cuadrático (Johnson, 2015)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 HCi + \beta_2 HCi^2 + ei$$

En donde:

y_i = Peso de nopalito acumulado

HC = Horas calor acumuladas

β_0, β_0, β_0 = Coeficientes de regresión

En cada tratamiento se estimaron los coeficientes de regresión, el R^2 y el máximo de HC calor para obtener el máximo rendimiento. También se estimaron los coeficientes de regresión estandarizados ($\beta_0 + \beta_1 + \beta_2$) para obtener el porcentaje de curvatura de la ecuación. Se analizaron los efectos de la suma de las horas calor por semana en la producción de cada tratamiento.

Para obtener las horas calor diarias se utilizó la fórmula, Horas calor diarias= $\overline{T}a$ = [(Temperatura máxima + mínima) /2] – Temperatura base) (Almaguer-Sierra *et al.,* 2014).

$$GDD = \overline{T}a - Tbase$$

Se obtuvo la suma semanal de estas horas calor que coincidía con el momento de cosecha (Hassan *et al*., 2007).

4. RESULTADOS y DISCUSIÓN

4.1. Cosecha de Nopalitos.

Los nopalitos se cosecharon cuando alcanzaron un máximo de 20 cm de longitud, aunque se tuvo variabilidad en el ancho del nopalito y con un peso promedio de 90 a 110 g. La preferencia del cliente es variada en cuanto al tamaño, pero para estandarizar el tamaño se decidió por estas medidas. Por ser época de frio los cladodios madre comenzaron sus primeros brotes la primera semana de diciembre, 35 días después de la siembra. Los nopalitos empezaron a brotar y a crecer con más frecuencia, aunque no con toda la abundancia como comúnmente crecen. Después de hacer la primera cosecha se continuó efectuando cortes y registrando el largo, ancho y grosor de los nopalitos semanalmente.

4.2. Análisis del Agua de Riego.

El agua de riego es caracterizada como de mala calidad debido a tres condiciones que pueden afectar el desarrollo del cultivo de nopal (Cuadro 3), y es consideradá como agua moderadamente salina con alto contenido de cloro y baja en sodio. Para este tipo de agua se recomienda agregar más agua durante el riego para ayudar a un lavado de sales.

Cuadro 3. Químicos en agua utilizada para el riego del experimento.

A N Á L I S I S	D A T O S	OBSERVACIONES
1. Gasto aforado		
2. CE a 25°C	2.040 mS cm^{-1}	moderadamente. Salina
3. pH	7.4	
4. Ca en meq/l	7.2	
5. Mg en meq/l	4.4	
6. Na en meq/l	8.8	
7. K en meq/l		
8. Suma de Cationes en meq/l	20.4	
9. CO_3 en meq/l	0	
10. HCO_3 en meq/l	7.71	
11. Cl en meq/l	6.2	No recomendable
12. SO_4 en meq/l	6.2	
13. NO_3 en meq/l		
14. Suma de Aniones en meq/l	20.4	
15. SE en meq/l	13.2	Condicionada
16. SP en meq/l	9.8	Condicionada
17. RAS	3.654	Agua baja en sodio
18. CSR en meq/l	0	Buena
19. PSP	66.66	Condicionada
20. B en ppm		
21. Clasificación	$C_3 S_1$	

4.3. Análisis General de Micros y Macronutrientes Iniciales de los Abonos Utilizados.

Los resultados del analisis de los abonos para la determinación de micro y macronutrientes (Cuadro 4) en los abonos de lombricomposta de vacuno y lixiviado de lombricomposta de vacuno, mostraron un contenido inicial muy bajo de nitrógeno. En el abono de gallinaza mostro 3.2% de nitrógeno y coincide con la literatura tradicional (Estrada, 2005). La gallinaza desecada industrialmente contiene más N, P y K que, si se utiliza después de acumularla, almacenarla o en fresco, debido a que la humedad es volatilizada y se tiene una mayor cantidad aparente.

Cuadro 4 Análisis general inicial de los abonos utilizados en su composición de macro y micronutrientes.

Abonos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	%	mg kg^{-1}	meq 100 g^{-1}			mg kg^{-1}				
Testigo (suelo)	2.7	29.1	1.2	9.8	3.9	2.2	0.4	1.3	2.1	1.0
Estiercol Vacuno	2.3	31.2	0.9	10.3	2.5	1.9	0.6	1.0	1.9	0.8
Gallinaza	3.2	35.2	1.9	8.3	3.1	1.2	0.9	1.1	1.4	0.6
Lombri-borrego	1.96	21.4	0.8	6.3	1.1	0.6	0.7	0.9	1.2	0.5
Lombri-vacuno	1.28	18.2	1.1	4.2	1.3	0.9	0.4	0.8	1.3	0.3
Lixiviado-vacuno	0.02	4.1	.01	2.1	1.2	0.01	0.0	0.0	0.3	0.1

4.4. Raíces Primarias y Secundarias del Cladodio Madre

Las raíces primarias se contaron individualmente, estas raíces nacen directamente del cladodio madre, originándose de cada una de las areolas que quedan abajo del nivel del suelo cuando se sembraron los cladodios, mientras que las raíces secundarias son la que nacen de las raíces primarias (Cuadro 5).

El tratamiento de la gallinaza fue el más sobresaliente en cuanto a la cantidad de raíces primarias. El tratamiento de lombricomposta de borrego obtuvo mayor cantidad de raíces secundarias. No hubo diferencia significativa en ninguna de las dos en base a la producción.

El proceso de lavado de raices se hizo con bastante cuidado ya que las raices son muy fragiles, especialmente las raices secundarias (Figura 15, también se pueden observar estos datos en el Cuadro 5A del Apéndice). Se utilizó una malla para evitar la perdida de las raices mas pequeñas. Se midieron y contaron individualmente.



Figura 15 Lavado de raices de los cladodios madre.

Cuadro 5 Conteo por tratamiento del número de raíces primarias y secundarias de cladodios madre.

Tratamiento	# Raíces primarias totales	# Raíces secundarias totales
T1=Testigo	225	95
T2=Leonardita	251	190
T3=Estiercol	176	43
T4=Gallinaza	419	150
T5=Lombri-borrego	315	236
T6=Lombri-vacuno	132	57
T7=Lixivia-lombri-vacuno	133	63
T8=Abono quimico	231	158

4.5. Analisis de Correlación de Raíces Primarias y Secundarias

Aunque se tuvieron varios resultados con correlación, solo se mencionaran los valores con moderada a muy buena correlación (Cuadro 6). Se incluye la descripción de abreviaturas de variables de raíces de nopalitos (Cuadro 7). Se realizó un análisis de correlación de Pearson a las variables que se mencionan posteriormente. Se encontró una correlación de r = 0.483 con un nivel de significancia de p=.005, por lo que existe una correlación moderada entre la producción de nopalitos y la longitud de las raíces primarias. Un análisis de correlación de Pearson fue realizado a las variables, número de raíces primarias y longitud de raíces primarias. Se encontró una correlación de r = 0.937 con un nivel de significancia de p=.000, por lo que existe muy buena correlación entre estas dos variables. Otro análisis de correlación de Pearson se realizó con las variables, número de raíces secundarias y longitud de raíces secundarias. El análisis encontró una correlación de r = 0.962 con un nivel de significancia de p=.000, por lo que existe muy buena correlación entre estas dos variables. En la correlación de Pearson que se realizó con las variables número de raíces secundarias y longitud de raíces secundarias se encontró una correlación de r = 0.734 con un nivel de significancia de p=.000, por lo que existe muy buena correlación entre estas dos variables.

Cuadro 6. Correlaciones de raíces primarias y secundarias y la producción de nopalito

		PesoTNgr	nrp	nrs	lrpcm	lrscm
PesoTNgr	Correlación de Pearson	1	.194	.161	.483**	.369*
	Sig. (bilateral)		.343	.433	.005	.038
	N	32	26	26	32	32
nrp	Correlación de Pearson		1	.582**	**.937****	.558**
	Sig. (bilateral)			.002	.000	.003
	N		26	26	26	26
nrs	Correlación de Pearson			1	.577**	**.962****
	Sig. (bilateral)				.002	.000
	N			26	26	26
lrpcm	Correlación de Pearson				1	**.734****
	Sig. (bilateral)					.000
	N				32	32
lrscm	Correlación de Pearson					1
	Sig. (bilateral)					
	N					32

**La correlación es significativa en el nivel 0.01.
* La correlación es significativa en el nivel 0.05.

Cuadro 7. Descripción de abreviaturas de variables de raíces de nopalitos presentadas en el Cuadro 6

Descripción	abreviación
Peso total de nopalitos en gramos	PesoTNg
Número de raíces primarias	nrp
Número de raíces secundarias	nrs
Longitud de raíces primarias en centímetros	lrpcm
Longitud de raíces secundarias en centímetros	lrscm
Porciento de materia seca de nopalitos	pmsn

4.6. Análisis de pH de los Tratamientos Utilizados

En el análisis de pH se encontró que el pH de los tratamientos está en un rango de 7.80 a 8.65 donde el más bajo fue el lixiviado de vacuno, y el más alto el estiércol compostado de vacuno (Cuadro 8).

Cuadro 8. pH de los tratamientos utilizados.

Tratamientos	pH
T1=Testigo	8.06
T2=Leonardita	7.95
T3=Estiércol	8.65
T4=Gallinaza	7.83
T5=Lombri-borrego	7.95
T6=Lombri-vacuno	8.12
T7=Lixiviado-vacuno	7.80

4.7. Análisis de Porciento de Materia Seca

Los promedios de materia seca observados en este experimento muestran que se encuentran en un rango de 3.74 y 4.13, los cuales muestran números representativos de contenido de materia seca en nopal. Se ha encontrado que el nopal posee un metabolismo especial que es muy eficiente en convertir el agua que consume en materia seca (Russell, 1987), y se utiliza en una gran variedad de países como alimento para ganado (Cuadro 9, Figura 16).

Cuadro 9. Porciento de materia seca en la producción de nopalitos.

Tratamiento	**Repeticiones**				**Promedio**
	1	2	3	4	%
T1=Testigo	4.29	4.35	3.62	4.27	4.13
T2=Leonardita	3.35	4.49	3.79	3.85	3.87
T3=Estiércol	3.41	3.54	3.72	4.32	3.75
T4=Gallinaza	4.24	4.03	3.95	3.66	3.97
T5=Lombri-borrego	3.69	4.06	3.42	4.77	3.99
T6=Lombri-vacuno	3.82	3.59	3.49	4.05	3.74
T7=Lixiviado-vacuno	4.55	3.77	3.76	4.25	4.08
T8=Químico	4.28	4.01	4.41	3.52	4.06

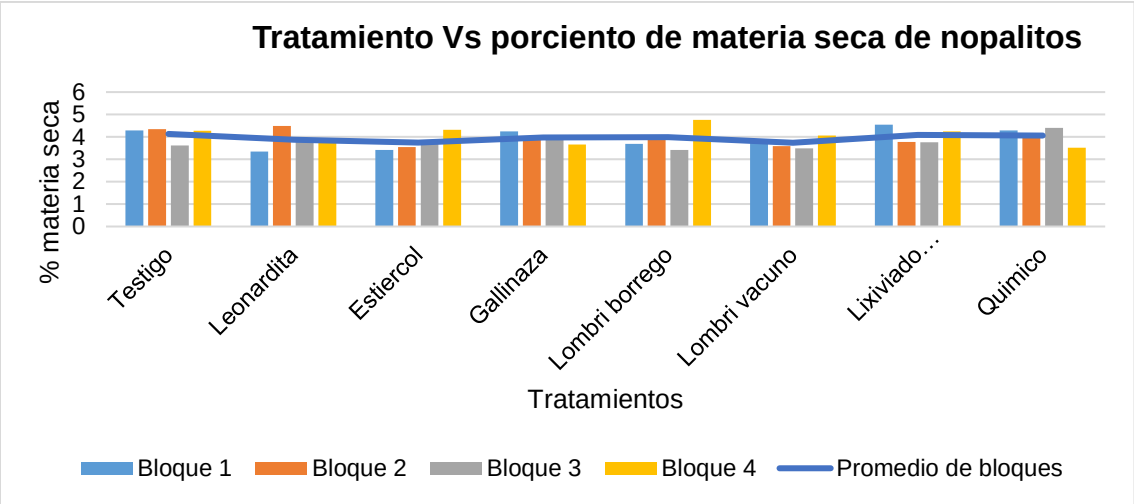


Figura 16 Producción de materia seca de nopalito en base a cada tratamiento

Se realizó un análisis de macronutrientes (Cuadro 10), a las muestras de peso seco de cada tratamiento. Los resultados mostraron un alto contenido de Nitrógeno y Fósforo en el tratamiento 4 (Gallinaza). El tratamiento 2 (Leonardita) resultó con el contenido más alto de Potasio, Calcio y Magnesio.

Se realizó un análisis de correlación con el peso seco de nopalitos y el peso final de nopalitos, no existe correlación entre las dos variables con r= -0.066 y con un nivel de sig. de 0.718.

Cuadro 10 Analisis de macronutrientes en el peso seco de los nopalitos

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1}				
T1= Testigo	14.3	9.1	21.2	23.1	22.8
T1= Leonardita	16.5	8.8	32.4	28.3	24.5
T3=Estiércol Vacuno	1.25	11.1	28.1	19.9	20.1
T4=Gallinaza	21.2	18.3	23.3	16.4	19.2
T5=Lombri-borrego	12.4	13.4	19.2	10	19.9
T6=Lombri-vacuno	13.3	15.2	20	11.2	21
T7=Lixiviado-vacuno	14.2	11.2	18.4	17.1	19
T8= Químico	19.2	17.7	22.1	18.3	14.5

4.8. Plagas y Enfermedades del Cultivo del Nopal

En los últimos 3 meses antes de finalizar el proyecto, hubo un ataque del hongo *Pseudocercospora opuntiae,* el cual eliminó 6 unidades experimentales. Otro problema que se presentó fue el ataque del gusano telarañero (*Loxomorpha flavidissimalis),* que redujo la producción en 16 unidades experimentales. Para esta plaga se hizo una aplicación cada 15 días de Diazinón con una dosis de 1L ha^{-1} hasta que ya no se observó incidencia de la plaga. Para el control de *Pseudocercospora opuntiae* se retiraron del area los cladodios enfermos. De acuerdo a trabajos realizados en *P. opuntiae,* este hongo penetró a través de los estomas del cladodio, invadiendo los tejidos internos y ocasionando muerte del tejido causando una decoloración de la cutícula de color obscuro (Figura 17). El ataque puede ser localizado o total, donde se presenta la muerte del cladodio (Gallegos *et al.*, 2013; Inglese *et al*., 2018)

La enfermedad se presenta cuando tiene las condiciones de humedad relativa alta y se tiene la presencioa del inóculo, y por otra parte, también se tiene la situación de que el suelo es de textura arcillosa la cual retiene la humedad por mas tiempo y el riego semanal pudo haber perjudicado esta condición.



Figura 17. Mancha negra del nopal (*Pseudocercospora opuntiae).*

Esta enfermedad se extendio a 6 unidades experimentales (Cuadro 11). El efecto se manifestó en una de las unidades experimentales el 18 de julio, 2021, 9 meses después de iniciado el experimento, cuando las temperaturas fueron mas altas, (Figura 20). Esta enfermedad se monitoreó por mas de cuatro años y se ha observado que la incidencia de esta enfermedad se acrecentó después de la epoca de lluvias (Quezada *et al*., 2013; Lara-Villalón *et al*., 2016).

Cuadro 11. Fecha en que se presento la enfermedad mancha negra, en algunas unidades experimentales, *Pseudocercospora opuntiae*.

Unidad experimental	**Fechas de ataque de la enfermedad**
R4T7	27/06/2021
R1T7	04/07/2021
R2T8	11/07/2021
R1T1	05/09/2021
R3T3	17/10/2021
R4T6	17/10/2021

Ataque del gusano telarañero, *Loxomorpha flavidissimalis*

El gusano telarañero atacó a los nopalitos tiernos reduciendo su crecimiento y evitando que alcanzaran su maximo tamaño, causando tambien que tuvieran un crecimiento acorazonado o en algunos casos se desprendieran del cladodio madre o engrosaron prematuramente; algunos brotes nuevos tambien murieron y se perdió su producción (Figura 18).



Figura 18. Gusano telarañero (*Loxomorpha flavidissimalis)*

4.9. Análisis Estadístico de Variables Evaluadas

Para el análisis estadístico del peso del cladodio madre al finalizar el experimento se utilizó un análisis de covarianza en donde la covariable fue el largo del cladodio madre inicial. El análisis de covarianza mostró un efecto significativo de la covariable ($p=0.00$), lo que indica que cladodios más grandes resultaron con mayor peso de cladodio final. Los tratamientos también resultaron con diferencia significativa (Cuadro 12, y también se pueden observar estos datos en el Cuadro 1A del Apéndice). Los tratamientos más sobresalientes fueron vermicomposta de bovino, gallinaza y estiércol (Cuadro 13 y 14), lo que demuestra que en la producción de nopal es importante la aplicación de materia orgánica como fertilizante (Vázquez *et al*., 2005; Vázquez, 2003).

Cuadro 12. Pruebas de correlación de Peso del cladodio madre final en gramos (pcmfg) y longitud de cladodio madre inicial en centímetros (lcmicm), como variable independiente.

FV	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	Sig.
Tratamiento	1216456.97	7	173779.57	6.00	.002
Bloque	596956.59	3	198985.53	6.87	.004
lcmicm	1853647.34	1	1853647.34	64.02	.000
Error	405372.25	14	28955.16		
Total, corregida	6772737.12	25			

a. R cuadrado= 0.940 (cuadrado corregido =0.893)

Cuadro 13 Comparación de medias con la variable dependiente= pcmfg, y como variable independiente= lcmicm

Tratamiento	Media	Error tipo II	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
T1=Testigo	1528.25^{c}	100.64	1312.39	1744.10
T2=Leonardita	1687.89^{bc}	85.15	1505.26	1870.52
T3=Estiércol	1997.26^{a}	100.44	1781.84	2212.68
T4=Gallinaza	2134.15^{a}	86.65	1948.31	2319.98
T5=Lombri-borrego	1944.30^{ab}	85.24	1761.48	2127.13
T6=Lombri-bovino	2147.94^{a}	103.54	1925.86	2370.2
T7=Lixiviado-bovino	1616.21^{c}	127.61	1342.52	1889.91
T8=Químico	1702.57^{bc}	101.39	1485.11	1920.03

Cuadro 14. Orden decreciente de la comparacion de medias del peso de cladodio madre final en g.

Tratamiento	Media g	Sig.= 0.05
T6=Lombri-bovino	2147	a
T4=Gallinaza	2134	a
T3=Estiércol	1997	a
T5=Lombri-borrego	1944	ab
T8=Químico	1702	bc
T2=Leonardita	1688	bc
T7=Lixiviado-bovino	1616	c
T1=Testigo	1528	c

El análisis de varianza para el ancho del cladodio madre al finalizar el experimento resultó con diferencias significativas entre los tratamientos (p=0.027). La comparación de medias mostró que los tratamientos 5 (lombricomposta de borrego) 4 (gallinaza) y 6 (lombricomposta de bovino), fueron sobresalientes comparados con el testigo (Cuadros 15 y 16)

Cuadro 15. Comparación de medias del cladodio madre final = acmfcm, comparado con longitud del cladodio madre inicial y como variable independiente= lcmicm

Trat.	Media ancho.cm final.	Error tipo II.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
T1=Testigo	20.67 bc	.958	18.61	22.72
T2=Leonardita	20.28 c	.811	18.54	22.20
T3=Estiércol	23.41ab	.956	21.36	25.46
T4=Gallinaza	24.24 a	.825	22.47	26.01
T5=Lombri-borrego	24.40 a	.811	22.66	26.14
T6=Lombri-bovino	23.84 a	.986	21.73	25.96
T7=Lixiviado-bovino	22.40ab	1.215	19.80	25.01
T8=Químico	23.14 ab	.965	21.10	25.21

Cuadro 16. Orden decreciente de la comparación de medias por el método Duncan para la variable ancho de cladodio madre final

Tratamientos	Media (cm)	Sig.= 0.05
T5=Lombri-borrego	24.397	a
T4=Gallinaza	24.239	a
T6=Lombri-bovino	23.841	a
T3=Estiércol	23.407	ab
T7=Lixiviado-bovino	23.399	ab
T8=Químico	23.141	ab
T1=Testigo	20.669	bc
T2=Leonardita	20.279	c

Las temperaturas mínimas medias de diciembre del 2020 fueron de 8 ºC, en enero 2021 fue de 10.1 ºC y febrero 2021 fue de 9.5 ºC, lo que ocasionó que no se activaran nuevos brotes sino hasta la última semana de marzo 2021, con temperaturas promedio de 15.3 ºC y máximas de 28.5 ºC, la brotación y crecimiento de los nopalitos fue abundante. La temperatura óptima del nopal verdura en México está entre 16 °C y 28 °C, con máxima de 35 °C (Ríos, 2004).

4.10. Produccion de Nopalito en Base a las Horas Calor Diarias

La temperatura mínima de -5 ºC se alcanzó el 16 de febrero 2021 y la temperatura máxima de 42 ºC fue el 10 de abril del 2021. Las temperaturas, a través de todo el experimento estuvieron dentro de los rangos de temperatura de -6 ºC, hasta 65 ºC (Nobel, 2002) tolerables de por *Opuntia ficus-indica.* Es importante recordar que el conocer la fenología del cultivo, ayuda a su manejo correcto, si consideramos y estimamos las unidades térmicas se podría predecir el crecimiento del cultivo (Almaguer-Sierra *et al.*, 2014).

Las temperaturas mínimas, medias y altas fueron tomadas diariamente desde el primer día de la instalación del experimento, con el fin de monitorear la acumulación de las horas calor (Figura 19, y también se pueden observar estos datos en el Cuadro 3A del Apéndice).

Los maximos resultados de producción de nopalito fueron en el período de primavera-verano (Orona-Castillo *et al*., 2004). (Se observa estos datos en el Cuadro 4A del Apéndice). Esto es consecuencia del efecto de las bajas temperaturas del inicio y final del año, donde bajaron los rendimientos consecuentemente.

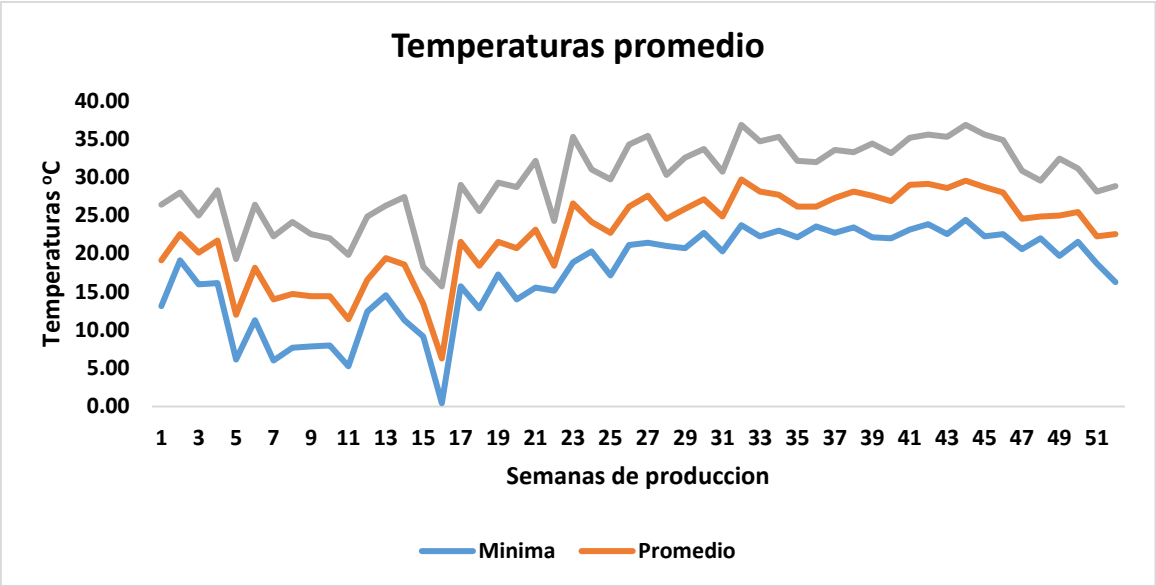


Figura 19. Temperaturas promedio de 52 semanas durante la producción de nopalitos

La producción de nopalito en función de las horas calor se presenta en la Figura 20 para cada tratamiento, en donde el eje X están las horas calor y en el eje Y la producción de nopalito. En la gráfica se observa que la producción se incrementa linealmente hasta las 3000 horas, sin embargo, después cae la tendencia y se convierte en una relación cuadrática. A las 5000 horas calor, los tratamientos que presentaron los menores rendimientos fueron T7 y T1.

Se realizó un trabajo de investigación similar por Almaguer-Sierra *et al.,* (2014) utilizando la producción acumulada de peso fresco y peso seco con los GDD para los períodos de 7, 14 21 y 30 días utilizando un polinomio de segundo grado, encontrándose el mejor ajuste a los 21 días. Los análisis de regresión en donde se estableció la relación de horas calor y rendimiento de nopalito tuvieron buenos ajustes, con coeficientes de determinación (R^2) en el rango de 0.986 y 0.992 (Cuadro 17).

Los tratamientos que presentaron los menores coeficientes de regresión cuadrática (b^2) fueron el T4, seguido de los tratamientos T2, T5 y T6. (Se pueden observar estos datos en el Cuadro 2A del Apéndice). Esto indica que estos tratamientos promovieron el mayor vigor de la planta y que continuó produciendo a medida que se acumulaban las horas calor. La gallinaza es un abono potente que da resultados satisfactorios, aunque la lombricomposta también manifiesta resultados de impacto sobresalientes (Escoto, 2014).

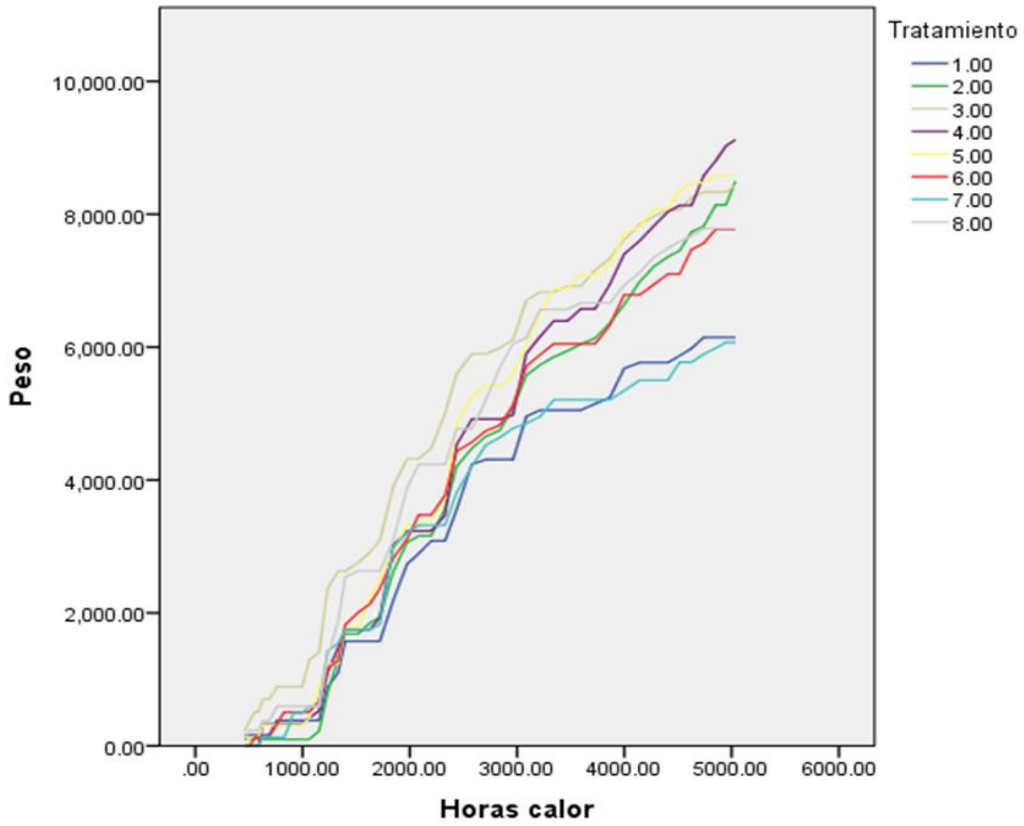


Figura 20. Produccion de nopalito para cada tratamiento en funcion de las horas calor diarias.

Para cada modelo de regresión cuadrática se estimaron las horas calor necesarias para obtener el máximo rendimiento. En este caso, aquellos tratamientos con máximos de horas calor más grandes indican que siguieron produciendo hasta

alcanzar la cantidad de horas calor máximas. En el orden de magnitudes de horas calor se observa que los tratamientos con mayores máximos de horas calor fueron el T4 (gallinaza), seguido de los tratamientos T2 (leonardita), T5 (lombricomposta de borrego) y T6 (lombricomposta de bovino). En general, los mismos resultados obtenidos con los coeficientes de regresión cuadráticos.

En el (Cuadro 17) se presentan los coeficientes de regresión estandarizados y el porcentaje del efecto cuadrático (Cuadro 18), en donde se observa que los tratamientos con menor efecto cuadrático fueron el T4, seguido de los tratamientos T2, T5 y T6, indicando que estos tratamientos no tuvieron una caída en el rendimiento a medida que se incrementaron las horas calor. Baskaran *et al*., (2020), en su trabajo de investigación registró la necesidad de acumular una cantidad especifica de unidades de calor, en todas las fases de cualquier cultivo, en este caso la del cultivo del maní. Los GDD ya se han establecido en muchas regiones y en la mayoría de los cultivos. La temperatura base que es utilizada para cada cultivo puede variar a través de varios años del cultivo (Bondade and Deshpande, 2020).

Cuadro 17. Coeficientes de regresión estimados, (R^2) y Unidades Calor, (UC) para obtener el máximo rendimiento.

Tratamiento	b^0	b^1	b^2	R^2	Max
T1=Testigo	-3091.074	3.578	-0.00034881	0.982	5129.031
T2=Leonardita	-1770.021	2.560	-0.0001071	0.988	11955.489
T3=Estiércol	-1723.793	3.563	-0.0003055	0.992	5831.840
T4=Gallinaza	-1664.317	2.539	-7.5855E-05	0.991	16733.845
T5=Lombri-borrego	-2016.048	3.078	-0.00017577	0.987	8755.412
T6=Lombri-bovino	-1772.237	2.848	-0.00018447	0.992	7718.693
T7=Lixiviado-bovino	-1860.530	2.982	-0.00028367	0.986	5256.832
T8=Químico	-1978.348	3.423	-0.0002888	0.987	5925.574

Aunque no existe mucha literatura disponible referente a las horas-calor en nopal, se encontraron trabajos en otro tipo de cultivos que muestran la importancia de esta variante térmica en la producción de algunos cultivos.

Otro experimento realizado por Chamorro-Sevilla y Velasteguí-Cáceres (2021), en el cultivo de tuna muestra que, aunque tuviéramos limitada la información de las temperaturas, y de acuerdo al objetivo, se puede llegar a conclusiones satisfactorias, en este caso menciona el uso Grados-día acumulados (GDA), Grados-día diarios (GDD), Grados hora diarios (GHD), Grados-hora acumulados (GHA) y Grados de madurez acumulados (GMA). Así se pueden obtener los grados acumulados tanto diarios, mensuales, semestrales y anuales y compararlo con otras áreas de características similares aplicables a este cultivo.

El análisis de varianza para el peso de nopalitos resultó con diferencias significativas para los tratamientos (p=0.000). La comparación de medias mostró que los tratamientos 3, 4 y 5 resultaron con los mayores pesos de cladodios. Los tratamientos con los menores pesos fueron el 1 y el 7 (Cuadro 19)

Cuadro 18. Coeficientes de regresión estandarizados y porciento del efecto cuadrático.

Tratamiento	b^1	b^2	$b^1 - b^2$	%
T1=Testigo	2.366	-1.421	3.787	0.37523105
T2=Leonardita	1.274	-0.289	1.563	0.18490083
T3=Estiércol	1.743	-0.833	2.576	0.32336957
T4=Gallinaza	1.181	-0.191	1.372	0.13921283
T5=Lombri-borrego	1.418	-0.439	1.857	0.2364028
T6=Lombri-bovino	1.505	-0.528	2.033	0.25971471
T7=Lixiviado-bovino	1.95	-1.005	2.955	0.34010152
T8=Químico	1.767	-0.808	2.575	0.31378641

Cuadro 19. Comparación de medias de tratamientos del peso de nopalitos.

Tratamiento	Media g.	95% Intervalo de confianza	
		L. I.	L. S.
T1=Testigo	5586.53 d	5464.84	5708.22
T2=Leonardita	6918.71 c	6797.20	7040.40
T3=Estiércol	7643.12 a	7521.43	7764.81
T4=Gallinaza	7505.91 a	7384.22	7627.60
T5=Lombri-borrego	7672.94 a	7551.25	7794.63
T6=Lombri-bovino	6776.06 c	6654.37	6897.75
T7=Lixiviado-bovino	5485.88 d	5364.19	5607.57
T8=Químico	7125.65 b	7003.96	7247.34

EL error estándar de la evaluación fue 61.5

4.11. Producción de Raíces Primarias y Secundarias

EL crecimiento de raíces en el cladodio madre, en base a cada tratamiento, se presenta en la (Figura 21). Aunque no fue estadísticamente significativa la diferencia entre tratamientos, la cantidad de raíces en el tratamiento 4 de la gallinaza resultó tener mayor cantidad de raíces primarias.

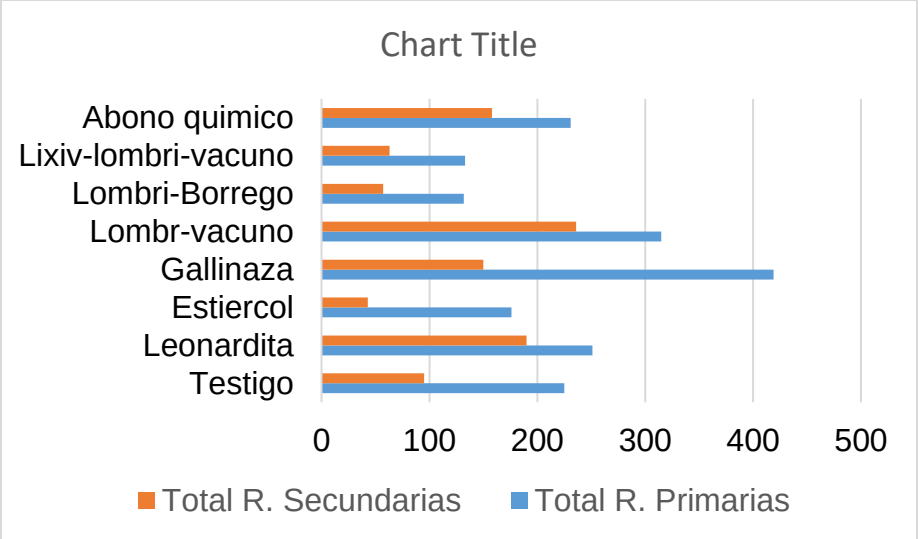


Figura 21 Comparacion del número de raíces primarias y secundarias total por tratamiento.

5. CONCLUSIONES

La materia orgánica de las compostas de estiércol bovino, gallinaza y lombricomposta de bovino permitieron una respuesta significativa en el peso final del cladodio madre.

La nutrición gradual aportada a través de las compostas, combinada con la cantidad de horas calor acumuladas, mejoraron el rendimiento de nopalitos. En orden de magnitudes con respecto a las horas calor se observó que la gallinaza presento mejor comportamiento en rendimiento, siguiéndole la leonardita, lombricomposta de borrego y lombricomposta de bovino, no observándose caída en la producción con el incremento de las horas calor.

El testigo absoluto asi como el lixiviado de composta de bovino, observaron una disminución en la producción después de 3,000 horas calor. En estos dos últimos materiales, se puede especular que no tuvieron los nutrientes suficientes para aprovechar eficientemente mayor cantidad de horas calor.

En base a estos resultados se concluye que una buena y consistente nutrición combinado con las horas calor necesarias para el crecimiento del cultivo mejora la producción.

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Y., Prieto, A., Rosales, Y. (2019). Dinámica de carbono y nitrógeno en suelos tratados con residuos orgánicos. Fundación Koinonía, Venezuela. INGENIUM ET POTENTIA. Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, vol. 1, núm. 1

Almaguer-Sierra, P.; Fuentes, R. H.; Vidales, C. J. A.; Barrientos, L. L., Mora-Ravelo, S. G. (2014). Relación entre grados-día y la producción de Opuntia ficus-indica para consumo humano en Marín, Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 5, núm. 6, agosto-septiembre, 2014, pp. 1055-1065 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México.

Andreu J., Beltrán J., Delgado I. Espada J.L., Gil M., Gutiérrez M., Iguácel F., Isla R., Muñoz F., Orús F., Pérez M., Quílez D., Sin E., Yagüe M.R. (2006). Fertilización Nitrogenada. Guía de actualización. Gobierno de Aragón Departamento de Agricultura y Alimentación. Talleres Editoriales Cometa, S.A. p-29.

Arellano, A. O., García, M. E., Thompson, K., and Tirado R. (2016). Zonas muertas. Los ecosistemas del mundo amenazados por la contaminación con fertilizantes. Green Peace.

Baskaran, R., Karunakaran, V. and Kamaraj, A. (2020). Effect of Growing Degree Days on Yield Attributes and Yield of Groundnut. Agricultural College and Research Institute, Eachangkottai, Thanjavur (TN), India. Current Journal of Applied Science and Technology.

Bondade, V. and Deshpande, S.K. (2020). Studies on Determination of Critical Growing Degree Days, Base Temperature (Tb) and Response of Temperature Variations on Flowering and Yield per se in Cowpea [Vigna unguiculata (L.) Walp.]. Legume Research.

Cegarra J., Alburquerque.J.A., Gonzálvez. J., Tortosa G., Chaw D. (2006). Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product (‘‘alperujo’’) managed by mechanical turning. ScienceDirect. Department of Soil and Water

Conservation and Organic Waste Management, Centro de Edafologıa y Biología Aplicada del Segura.

Chamorro-Sevilla, H., & Velasteguí-Cáceres, J. D. (2021). Aplicación de la Integral Térmica como herramienta de control bioclimático y de modelamiento ambiental en el cultivo de tuna (*Opuntia Ficus-indica*). Conciencia Digital, 4(1), 106-120. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.1537.

Correa-Galeote D., G. Tortosa, G., Bedmar E.J. (2013). Determination of Denitrification Genes Abundance in Environmental Samples**.** *Metagenomics*. Vol. 2, 1-14. (LINK:

Dimas, J.D., Díaz E.A., Martínez R. E y Valdez C. R. (2001). Effect of Organic Fertilizers on Physical-Chemical Soil Properties and Corn Yield.Terra Latin-American. vol. 19, núm. 4, octubre-diciembre, pp. 293-299. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

Elbasher, H. N., (2004). Evaluation of maturing and nutrient content of farm manure composted with chicken manure. Master of science degree. Faculty of Agriculture University of Khartoum.

Escoto, G. J. (2014). Efecto de biofertilizantes y productos orgánicos en la producción de nopal verdura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. pp-58-62.

Estrada, P. M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de Investigación, vol. 2, núm. 1. Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia. pp 45-46.

Fassbender, H. W. (1993). Modelos Edafológicos de sistemas agroforestales. Segunda edición. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp-313-315.

Ferrari, N. L. A. (2018). Lixiviación de fosfatos y nitratos a partir de fertilizantes inorgánicos y orgánicos bajo lluvia simulada. Escuela Agrícola Panamericana, Zambrano Honduras. pp-12,13.

Flores, J. L.M. (2015) El impacto económico y social de la producción sustentable del nopal en la delegación Milpa Alta, D.F. Tesis Instituto Politécnico Nacional

Follett, R. (2001). Nitrogen transformation and transport processes. In: Follett, R.; Hatfield, J. eds. Nitrogen in the environment: Sources, problems and management. Elsevier Science, The Netherlands. p. 17-44.

Gallegos, V. C., Méndez, G. S., Mondragón, J. C. (2013). Producción sustentable de la tuna en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, A.C. pp 127-129.

González, M., Jiménez, L., Yáñez, W y Parducci, Polo. (2018). Potencial uso de la Leonardita para el cultivo de rosa en condiciones de invernadero. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tungurahua, Ecuador. Agronomía Costarricense. pp-15-16

Guevara-Figueroa T, Jiménez-Islas H, Reyes-Escogido ML, (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.) Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems. 2010 Sep;23(6):525-532. DOI: 10.1016/j.jfca.2009.12.003.

Gutiérrez, C. J., González, C. G., Segura, C. M., Sánchez, C. I., Orozco, V. J. y Fortis, H. M. (2014). Efecto de ácidos húmicos de Leonardita en la estabilidad de agregados del suelo y raíces de melón en condiciones de invernadero. Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México. pp-299-302.

Guzmán, F. J. (2018). Fertilizantes Químicos y Biofertilizantes en México. Dirección de propuestas estratégicas. Reporte de investigación. Palacio Legislativo de San Lázaro.

Hassan, Q. K.; Charles, P. A.; Bourque, F. R. M. and William, R. (2007). Spatial mapping of growing degree days: an application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index. Journal of Applied Remote Sensing Vol. 1. p. 1.

INEGI. (2007). Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal: caso Milpa Alta. Censo Agropecuario. Tabulados del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Cuéntame…de México. pp-3-5.

Inglese, P., Mondragón, J. C., Nefzaoui, A. y Sáenz, C. (2018). Ecología del cultivo, manejo y uso del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (ONU). pp. 120-132.

Johnson, N. L. E. (2015). Understanding Quadratic Functions and Solving Quadratic Equations: An Analysis of Student Thinking and Reasoning. Doctor of Philosophy thesis. University of Washington. pp. 90-92

Lara-Villalón, M., Solís, M. A., Sánchez-Ramos, G. y Mora-Olivo, A. (2016). The cactus webworm, *Loxomorpha flavidissimalis* (Grote, 1878) (*Pyraloidea crambidae*): Its distribution and potencial as a pest of cultivated cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., Var. COPENA V-1) (Cactaceae) in Tamaulipas, Mexico. Proceedings of the Entomological Society of Washington, 118(1), 109-114.

López, P. G. (2018) Producción de cuatro variedades de nopal verdura bajo macro túnel. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Maki, D. G., Peña, V. C. B., García, N. R., Arevalo, G. M. L., Calderon, Z. G., Anaya, R. S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (Opuntia ficus-indica) para exportación y consumo nacional. P-42.

Mateus, A. C. H., (2018). Evaluación de métodos de propagación asexual del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la respuesta a diferentes sustratos, en el municipio Los Santos -Santander. Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y de medio ambiente. Bucaramanga.

Medina, G. H., García C. J., Núñez, A. D. (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 16, No. 3.

Moreno-García, B., Guillen, M., Quílez, D. (2017) Response of paddy rice to fertilization with pig slurry in northeast Spain: Strategies to optimize nitrogen use efficiency. Field Crops Research.

Mosqueda, S., Garcia-Muñoz, A., González-Becerril, S., Ramírez-Garnica, J., Mendoza-Bazán, J., Reyes-Mendoza, L. (2016). Estudio nutricional del nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en sus diferentes tipos de cocción.

Mula, J. A. (2012). Como aprender a diferenciar entre los ácidos húmicos y fúlvicos. En revista Agronómica. https://www.agromatica.es/acidos-humicos-o-acidos-fulvicos.

Mullo, G. I. (2012). Manejo y procesamiento de la gallinaza. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador. p-59.

Nahuat, O. J. J. (2016). Efecto de la dosificación del lixiviado de lombriz (*Eisenia fétida*) en el cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense Jacq*). Tecnológico Nacional de México. Instituto tecnológico de la zona Maya. p-18.

Nobel, P. S. y de la Barrera, E. (2002). Tolerances and acclimation to low and high temperatures Blackwell Science, Ltd for cladodes, fruits and roots of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica.* Department of Organismic Biology, Ecology, and Evolution, University of California, Los Angeles, California 90095–1606, USA.

Olivares, C., M., Hernández, R.A., Vences, C.C., Jáquez-B.J. and Ojeda-B. D. (2008). Worm compost and dairy cattle manure compost as fertilizers and in soil improvement. Facultad de Ciencias Agro tecnológicas Universidad Autónoma de Chihuahua.

Orona-Castillo, I.; Cueto, W. J. A.; Murillo, A. B.; Santamaría, C. J.; Flores, H. A.; Valdez, C. R. D.; García, H. J. L. y Toyo, D. E. (2004). Extracción nutrimental de nopal

verdura bajo condiciones de riego por goteo. J. Professional Assoc. for Cactus Dev 6:90-101.

Payeras, A. (2022). Ácidos húmicos y fúlvicos en bonsái. Bonsái Menorca. http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos.

Pérez, J., Miret, J., Espinosa, J., Caballero, M. (2010). Medidas de viscosidad: viscosímetro. Ley de Stokes.

Pérez-Torrero E, García-Tovar SE, Luna-Rodríguez LE, Rodríguez-García ME (2017) Chemical Composition of Prickly Pads from (Opuntia ficus-indica (L.) Miller Related to Maturity Stage and Environment. pp 4.

Price, J. S., Heathwaite, A. L. and Baird, A. J. 2002. Hydrological processes in abandoned and restored peatlands: An overview of management approaches. Department of Geography, and Wetlands Research Centre, University of Waterloo, Waterloo, ON. Sheffield Wetlands Research Centre (SWeRC), and Department of Geography, University of Sheffield, Sheffield. pp 67-69.

Quezada, S. A., Sandoval, I. J. S., Alvarado, R. D. y Moreno, V. M. (2013). Histopatología y patogénesis de *Pseudocercospora opuntia* en nopal. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Revista Mexicana de Micología. Pp 10-12.

Reyes-Agüero, J.A.; J.R. Aguirre R.; F. Carlín, C.; A. González D. (2009). Catálogo de las principales variantes silvestres y cultivadas de Opuntia en la Altiplanicie Meridional de México. UASLP., SAGARPA y CONACYT S. Luis Potosí, S.L.P. México. pp 127, 128.

Rincón S., L., (2007). Fertilizantes y disoluciones nutritivas en la fertiirrigación múltiple. Vida Rural nº 246. pág. 1.

Ríos, R. J., Quintana, M. V. (2004). Manejo del cultivo del nopal. Secretaria de la Reforma Agraria. Colegio de posgraduados p-14.

Roman, P., Martínez, M., Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. Santiago de Chile. pp-22-30

Russell, C. E., & Felker, P. (1987). The Prickly-Pears (Opuntia spp., Cactaceae): A Source of Human and Animal Food in Semiarid Regions. Economic Botany, 41(3), 433–445. http://www.jstor.org/stable/4254996

Sadeghian, K. S., González, O. H. Arias, S. E. (2015). Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera. Prácticas que ayudan a reducirla. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia pp-8-10.

SAGARPA. (2014). Plan de acción preventivo nopal. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).

SAGARPA (2015). Estudio de Factibilidad para el Establecimiento de Cultivo de Nopal (*Opuntia*) en Tierras Ociosas en los Estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas, Integrando Un Catálogo de Paquetes Tecnológicos con Fines Alimenticios, Energéticos y Ambientales. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. pp-32-40

Santos, H.J.A. (2015). Evaluación nutricional de variedades nativas y mejoradas de nopal (Opuntia sp.) para consumo animal. Tesis Universidad Autónoma de Nuevo León.

Sánchez, C. N. (2018). LA Agricultura campesina de Milpa Alta: Imposición y corrupción gubernamental Vs. Autosugestión: una alternativa para la ciudad de México (CDMX). Universidad autónoma metropolitana. Unidad Xochimilco. P-29 http://dcsh.xoc.uam.mx/podr/images/Tesis/Maestria/Sanchez_Cruz_Noemi.pdf.

Varela-Gámez, Y., Caldera-Arellano, A. K., Zegbe, J. A., Serna-Pérez, A., y Mena-Covarrubias, J. (2014). El riego en nopal influye en el almacenamiento y acondicionamiento de la tuna. Universidad Autónoma de Zacatecas. Revista mexicana de ciencias agrícolas.

Vázquez A., R.E. y C. Gallegos V. (1995). Organic fertilization for production of young tender pads of Opuntia spp in Nuevo Leon, Mexico. First Annual Conference. On Professional Association for Cactus Development. pp 107. San Antonio Texas. Texas A. and M. University Experimental Service. Sep. 14-17.

Vázquez-Alvarado, R., Gallegos-Vázquez C. (1997). Efecto de altos niveles de estiércol en la producción de dos variedades de nopal verdura. En: Vázquez-Alvarado R., Gallegos-Vázquez N., Treviño-Hernández N., Díaz-Torres Y. (compiladores). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7º congreso nacional y 5º internacional. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. México.

Vázquez-Alvarado, R. E. (2003). Uso de lombrihumius en la producción de nopal verdura cultivar Copena V1. pp 37-60. En Agricultura Orgánica. Editores E. Salazar S, M. Fortis H.; A. Vázquez A. y C. Vázquez V. Publicación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. y La Facultad de Agronomía y Zootecnia de la UJED. Gómez Palacio, Durango. Méx. ISBN:968-6404-62-7. X Simposium-Taller Nacional y III Internacional “Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey”.

Vázquez, A., R. E., G. Salinas G. y R. D. Valdez C. (2005). Colecta y conservación ex situ para el aprovechamiento del nopal. pp. 1-15. En: Vázquez-Alvarado, R. E. y R. D. Valdez-Cepeda (Comps.). “Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México”. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.

Velasco, V. D. (2014). Modelo de comercialización de nopal orgánico en la delegación Milpa Alta. (Tesis. Instituto Politécnico Nacional).

Wacher, R. M. M. (2006). Pueblos indígenas del México contemporáneo. Nahuas de Milpa Alta. – México. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas 28 p. Consultado: 15 de noviembre 2020. http://www.cdi.gob.mx/dmdocuments/nahuas_milpa_alta.pdf

Webb, J., Pain, B., Bittman, S., and Morgan, J. (2010). The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response – A review. Agric. Ecosyst. Environ. 137: 39

APÉNDICE DE LAS BASES DE DATOS

Cuadro 1A Datos de cladodio madre inicial y final

Bloques	Trat.	pcmi	pcmf	pcmdif	lcmi	lcmf	lcmdif	acmi	acmf	acmdif	gcmi	gcmf	gcmdif
1	1	475			31.1			17.1			1.6		
1	2	551	983	432	29.2	31.2	2	16.3	17.1	0.8	1.7	3.1	1.4
1	3	550	1535	985	33.2	36.1	2.9	19.2	23.1	3.9	1.6	3	1.4
1	4	470	1473	1003	33.1	35.8	2.7	17.4	21.6	4.2	1.2	3.2	2
1	5	490	1376	886	31.4	34.4	3	16.2	21.7	5.5	1.1	2.9	1.8
1	6	630	1252	622	28.4	30.8	2.4	19.2	20.4	1.2	0.9	3.5	2.6
1	7	680			28.1			19.3			1.1		
1	8	590	1015	425	29.2	30.1	0.9	20.4	22.5	2.1	1	3.6	2.6
2	1	845	1722	877	42.3	42.4	0.1	21.1	22.2	1.1	1.7	3.1	1.4
2	2	735	1645	910	41.1	43.5	2.4	21	21.9	0.9	1.4	3.2	1.8
2	3	1070	1832	762	43.4	43.7	0.3	21.2	22.3	1.1	1.8	3.1	1.3
2	4	875	2230	1355	40.2	46.7	6.5	20.4	25.3	4.9	1.9	3	1.1
2	5	910	1504	594	36.2	36.6	0.4	22.3	22.8	0.5	1.7	3.1	1.4
2	6	1460	2667	1207	49.1	51.1	2	24.1	25.3	1.2	2	3	1
2	7	795	1195	400	39.2	39.9	0.7	19.4	19.8	0.4	1.6	3	1.4
2	8	603			34.5			16.3			1.6		
3	1	890	1673	783	39.2	42.9	3.7	19.2	21.3	2.1	1.9	3.1	1.2
3	2	810	2203	1393	44.1	45.1	1	20.1	21.7	1.6	1.8	3.6	1.8
3	3	970			36.3			23.1			1.9		
3	4	1350	2641	1291	46.2	48.8	2.6	23.3	25.3	2	2.1	3.8	1.7
3	5	1010	2221	1211	41.2	43.2	2	23.3	26.1	2.8	1.9	3.4	1.5
3	6	730	1575	845	27.4	29.7	2.3	21.5	23.3	1.8	1.5	2.5	1
3	7	1520	2683	1163	49.1	49.4	0.3	25.3	27.9	2.6	2.1	3.1	1
3	8	960	2095	1135	42.2	45.3	3.1	24.1	24.7	0.6	1.8	3.6	1.8
4	1	1390	1979	589	50.4	53.8	3.4	20.2	21.1	0.9	2.1	3.1	1
4	2	1380	2030	650	48	49.9	1.9	19.3	20.8	1.5	2.4	3.6	1.2
4	3	1280	2121	841	40.2	43.1	2.9	22.1	22.6	0.5	2.2	3.4	1.2
4	4	1420	2717	1297	49.2	51.1	1.9	25.2	26.6	1.4	1.9	3.7	1.8
4	5	1140	2509	1369	49.4	51.9	2.5	23.1	26.4	3.3	2.1	3.1	1
4	6	810			40.6			24.4			1.8		
4	7	1010			44.3			23.6			1.6		
4	8	730	1673	943	42.2	43.8	1.6	18.1	20.9	2.8	1.8	3.7	1.9

Cuadro 2A Datos de cosecha de nopalitos y horas calor

De inicio	Dia del año	Fecha	Hrs. Calor Acum	Producción de nopalitos							
				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Siembra 30/10/20	01/11/2020									
1		08/11/2020	73.5								
2		15/11/2020	168.5								
3		22/11/2020	242								
4		29/11/2020	327.5								
5		06/12/2020	356.5								
6		13/12/2020	418.5								
7	7	20/12/2020	457.5	162	97	211					111
8	14	27/12/2020	509			177		127			124
9	21	03/01/2021	555.5			124			128		
10	28	10/01/2021	590.5								
11	35	17/01/2021	628.5			189	332	189		129	145
12	42	24/01/2021	689								
13	49	31/01/2021	762	220		188			202		215
14	56	07/02/2021	827.5						177		
15	63	14/02/2021	883.5							208	
16	70	21/02/2021	910							156	
17	77	28/02/2021	996.5								
18	84	07/03/2021	1061			403	89	97		98	
19	91	14/03/2021	1154		128	115	106	491	169		
20	98	21/03/2021	1233.5	501	571	965	576	330	493	833	742
21	105	28/03/2021	1330.5	215	524	257	376		110	119	534
22	112	04/04/2021	1398.5	476	365		272	551	544	206	671
23	119	10/04/2021	1518			128			185		88
24	126	18/04/2021	1627.5		164	153		422	126		
25	133	25/04/2021	1721.5		93	184	183	309	233	82	
26	140	02/05/2021	1845.5	616	678	811	1087	416	458	1156	470
27	147	09/05/2021	1974.5	545	443	415	213	394	285	220	780
28	154	16/05/2021	2084	162	98				366	112	357
29	161	23/05/2021	2200.5	188		161		82			
30	168	30/05/2021	2328		409	519	237	312	295		
31	175	06/06/2021	2436.5	474	635	598	1064	1127	663	494	533
32	182	13/06/2021	2578.5	679	273	301	382	406	136	393	
33	189	20/06/2021	2708	70	179			165	169	321	426
34	196	27/06/2021	2842		92	89			87	116	508
35	203	04/07/2021	2962		347	125	63	167	302	136	350
36	210	11/07/2021	3086.5	650	481	593	924	463	586	74	87
37	217	18/07/2021	3213.5	93	153	122	254	458	170	99	426
38	224	25/07/2021	3342		121		235	375	166	256	
39	231	01/08/2021	3470		92	89					

40	238	08/08/2021	3593		102		183	204			98
41	245	15/08/2021	3727	96	89	241					
42	252	22/08/2021	3865	94	229	179	371	144	280		
43	259	29/08/2021	3997.5	439	275	276	454	483	456	138	265
44	266	05/09/2021	4142	88	344	234	199	94		155	194
45	273	12/09/2021	4274.5		230	117	224	276	155		226
46	280	19/09/2021	4405.5		146	100	212		158		139
47	287	26/09/2021	4515.5	102	95		97	270		271	102
48	294	03/10/2021	4626	109	282	187		122	371		80
49	301	10/10/2021	4738.5	168	81	83	445		92	121	115
50	308	17/10/2021	4853		325		229	107	212	92	
51	315	24/10/2021	4947				221			87	
52	322	31/10/2021	5035		358	103	94				

Cuadro 3A Temperaturas mínimas promedio y máximas mensuales para el cálculo de las horas calor.

Dia	T. MÍN	T. MEDIA	T. MÁX	GD = [(Tmax + Tmin) /2] – Tb;
Nov	15.70	20.47	26.40	331.5
Dic	8.30	15.23	23.60	542
Ene	9.67	15.23	23.13	762
Feb	9.46	15.24	22.84	996.5
Mar	14.93	20.93	28.97	1368.5
Abr	18.80	23.83	30.83	1813
May	21.37	26.23	33.10	2343.5
Jun	22.20	27.40	34.17	2889
Jul	22.97	27.30	33.33	3451
Ago	22.97	28.50	34.97	4039
Sep	22.33	27.13	33.63	4578.5
Oct	19.27	23.90	30.13	5035

Cuadro 4A Datos de peso, largo, ancho y grosor de la producción de nopalitos.

Bloques	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**
Tratamientos	**T1**	**T1**	**T1**	**T1**	**T2**	**T2**	**T2**	**T2**	**T3**	**T3**	**T3**	**T3**	**T4**	**T4**	**T4**	**T4**
	Peso de nopalitos															
Tot por trat./Bl	875	1639	1583	2050	1098	2500	2458	2443	2142	2252	1826	2114	2519	1174	2414	2921
Promedio	109.4	102.4	98.9	89.1	91.5	100.0	106.9	111.0	97.4	118.5	101.4	105.7	105.0	97.8	96.6	104.3
# de brotes vivos	8	16	16	23	12	25	23	22	22	19	18	20	24	12	25	28
Total/trat.	6147				8499				8334				9028			
Total brotes/T			63				82				79				89	
Peso Prom/Tra.			97.57				103.6				105.5				101.4	
	Largo de nopalitos															
Tot por trat.	109.4	341.7	334.9	478.4	240.6	518.1	488.2	438.6	452.3	388.8	367.3	414.2	479.8	240.8	525.8	589.6
Promedio	19.7	21.4	20.9	20.8	20.1	20.7	21.2	31.3	20.6	20.5	23.0	20.7	20.0	20.1	21.0	21.1
Total/trat.	1312.7				1685.5				1622.6				1836			
Largo Prom/Tra.			20.84				22.78				21.07				20.63	
	Ancho de nopalitos															
Tot por trat.	75.3	146.8	148.6	210.9	106.1	234.1	223.8	226.4	195	187.9	171	199.7	219.7	97.5	224.5	266
Promedio	9.41	9.18	9.29	9.17	8.84	9.36	9.73	16.17	8.86	9.89	10.69	9.99	9.15	8.13	8.98	9.50
Total/trat.	581.6				790.4				753.6				807.7			
Ancho Prom/Tra.			9.23				10.68				9.79				9.08	
	Grosor de nopalitos															
Tot por trat.	7.8	16	16.2	23.4	12.1	24.8	23.7	22.3	22.4	19.7	17.6	20.2	23.9	12.6	25.3	28.8
Promedio	0.98	1.00	1.01	1.02	1.01	0.99	1.03	1.59	1.02	1.04	1.10	1.01	1.00	1.05	1.01	1.03
Total/trat.	63.4		63		82.9		74		79.9		77		90.6		89	
Grosor Prom/Tra.			1.006				1.120				1.038				1.018	

Cuadro 5A Datos acumulados de raíces primarias y secundarias de los cladodios madre

%MS nopalito	# R. Primaria	# R. Secundaria	nrp	lrpcm	nrs	lrscm	pmsn
4.29				0		0	4.29
3.35	31	11	31	858	11	137	3.35
3.41	54	15	54	1625	15	162	3.41
4.24	91	10	91	3213	10	127	4.24
3.69	81	78	81	2972	78	1406	3.69
3.82	37	14	37	1096	14	199	3.82
4.55				0		0	4.55
4.28	52	35	52	1703	35	474	4.28
4.35	41	27	41	1052	27	446	4.35
4.49	75	38	75	3478	38	778	4.49
3.54	61	22	61	2710	22	392	3.54
4.03	97	29	97	3718	29	487	4.03
4.06	69	26	69	2718	26	486	4.06
3.59	51	33	51	1650	33	565	3.59
3.77	98	54	98	3632	54	1060	3.77
4.01				0		0	4.01
3.62	104	63	104	3310	63	896	3.62
3.79	80	79	80	3692	79	1700	3.79
3.72				0		0	3.72
3.95	118	71	118	4564	71	1367	3.95
3.42	78	37	78	2380	37	683	3.42
3.49	44	10	44	1508	10	203	3.49
3.76	35	9	35	969	9	145	3.76
4.41	108	71	108	3963	71	1268	4.41
4.27	80	5	80	2576	5	59	4.13
3.85	65	62	65	2501	62	1245	3.87
4.32	61	6	61	2620	6	82	3.75
3.66	113	40	113	3618	40	562	3.97
4.77	87	95	87	2848	95	1259	3.99
4.05				0		0	3.74
4.25				0		0	4.08
3.52	71	52	71	2309	52	857	4.06

Cuadro 6A Datos de materia seca de nopalito muestreados en dos fechas diferentes. (28-03-21 y 5-09-21)

	1 er Peso seco nopalitos							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Block 1 P. inicial g.	70	89	91	121	106	127	90	111
Block 1 P. final g.	3	3	3	5	4	5	4	5
Block 1 %Materia seca	4.29	3.37	3.30	4.13	3.77	3.94	4.44	4.50
Block 2 P. inicial g.	115	83	90	104	100	131	81	121
Block 2 P. final g.	5	4	3	4	4	5	3	5
Block 2 %Materia seca	4.35	4.82	3.33	3.85	4.00	3.82	3.70	4.13
Block 3 P. inicial g.	127	130	94	119	129	76	111	146
Block 3 P. final g.	5	5	3	5	4	2	4	6
Block 3 %Materia seca	3.94	3.85	3.19	4.20	3.10	2.63	3.60	4.11
Block 4 P. inicial g.	89	105	92	114	127	106	89	139
Block 4 P. final g.	4	4	4	4	6	5	4	5
Block 4 %Materia seca	4.49	3.81	4.35	3.51	4.72	4.72	4.49	3.60

	2ndo Peso seco nopalitos							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Block 1 P. inicial g.		90	85	69	83	81	86	123
Block 1 P. final g.		3	3	3	3	3	4	5
Block 1 %Materia seca	#DIV/0!	3.33	3.53	4.35	3.61	3.70	4.65	4.07
Block 2 P. inicial g.		96	80	95	97	119	78	103
Block 2 P. final g.		4	3	4	4	4	3	4
Block 2 %Materia seca	#DIV/0!	4.17	3.75	4.21	4.12	3.36	3.85	3.88
Block 3 P. inicial g.	121	107	94	108	107	69	102	85
Block 3 P. final g.	4	4	4	4	4	3	4	4
Block 3 %Materia seca	3.31	3.74	4.26	3.70	3.74	4.35	3.92	4.71
Block 4 P. inicial g.	74	103	70	105	104	118	75	87
Block 4 P. final g.	3	4	3	4	5	4	3	3
Block 4 %Materia seca	4.05	3.88	4.29	3.81	4.81	3.39	4.00	3.45