

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MATERIA ORGÁNICA EN CULTIVARES
TUNEROS TOLERANTES A BAJAS TEMPERATURAS DE LAS ZONAS ALTAS
DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

ROCÍO SARAHÍ LÓPEZ ZÚÑIGA

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

AGOSTO DE 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MATERIA ORGÁNICA EN CULTIVARES
TUNEROS TOLERANTES A BAJAS TEMPERATURAS DE LAS ZONAS ALTAS
DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

ROCÍO SARAHÍ LÓPEZ ZÚÑIGA

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

AGOSTO DE 2022

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MATERIA ORGÁNICA EN CULTIVARES
TUNEROS TOLERANTES A BAJAS TEMPERATURAS DE LAS ZONAS ALTAS
DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

ROCÍO SARAHÍ LÓPEZ ZÚÑIGA

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

AGOSTO DE 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. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Director de Tesis

Dr. Emilio Olivares Sáenz
Co-Director

Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena
Asesor

Dra. Ma. del Carmen Ojeda Zacarías
Asesor

M.C. Luis Enrique Espinoza Orozco
Asesor

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Subdirectora de Estudios de Posgrado

DEDICATORIA

A mis padres Enrique López y Guadalupe Zúñiga por darme todo su apoyo durante el proceso de mi maestría, darme ánimos y consejos en los momentos en que los necesite para poder seguir adelante.

A mi esposo que estuvo a mi lado apoyándome siempre para lograr terminar mi posgrado.

A mis hermanas que estuvieron apoyándome y ayudándome cuando las necesite muchas gracias.

A mi tía Antonia López que también me ayudo cuando se lo pedí, siempre dándome ánimos para seguir esforzándome y lograr mis metas.

A toda mi familia en general gracias por creer en mí y darme todo su apoyo en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme tener esta gran experiencia que me hará mejorar de forma personal y en conocimientos, por darme salud durante el proceso.

A mi asesor el Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado, le agradezco el apoyo en todo el tiempo que duró esta maestría y por sus consejos para mejorar el proyecto de investigación. Reciba mi admiración y respeto.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz, le agradezco por su ayuda, apoyo y consejos que me brindo para mejorar el trabajo de investigación. Reciba mi admiración y respeto

Al M.C. Luis Enrique Espinoza Orozco por ayudarme en los momentos que se lo pedí, por los consejos que me dio durante mi trabajo de investigación. Reciba mi admiración y respeto.

Al M.C. Carlos Alberto Hernández Martínez quiero agradecerle por haberme permitido realizar mi investigación en la Facultad de Agronomía Unidad La Ascensión y, prestarme los materiales que necesité. Reciba mi admiración y respeto.

Al Ing. Fernando Cabrieles por ayudarme y apoyarme para realizar los análisis de muestras para la investigación. Gracias por sus consejos.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de esta maestría.

INDICE GENERAL

	ÍNDICE DE CUADROS	XI
	ÍNDICE DE FIGURAS	XII
	ÍNDICE DE ÁPENDICE	XIV
	RESUMEN	XV
	ABSTRACT	XVI
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Hipótesis General	2
1.2.	Objetivo General	2
1.3.	Objetivos Específicos	2
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	El Cultivo de Nopal	3
2.2.	Taxonomía del nopal	4
2.3.	Tolerancia al Frio en Nopal Tunero (<i>Opuntia Spp.</i>)	5
2.3.1.	Antecedentes del clima en las zonas altas del sur del estado de Nuevo León	6
2.4.	Cultivo de Nopal Tunero	10
2.4.1.	Componentes del nopal y su función	11
2.5.	Cultivares Utilizados en el Experimento	15
2.5.1.	Valor nutritivo	17
2.6.	Usos y Aplicaciones del Nopal Tunero	17
2.7.	Importancia Socioeconómica	18
2.8.	Principales Estados Productores	18
2.9.	Recursos Edáficos y Climáticos	19
2.10.	Uso de Materia Orgánica	20
2.10.1.	Importancia de la materia orgánica	20
2.11.	Lombricomposta	21
2.11.1.	Ventajas	22
2.12.	Leonardita	22
2.13.	Gallinaza	22
2.14.	Peat moss	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1.	Descripción del Área de Estudio	26
3.2.	Material Vegetal	26
3.3.	Descripción de los Tratamientos.	27
3.4.	Diseño Experimental	28
3.5.	Colecta de Suelo en las Nopaleras Seleccionadas	29
3.6.	Incorporación de Lombricomposta y Leonardita (Primera Etapa)	29
3.7.	Aplicación de Peat Moss y Gallinaza (Segunda etapa).	30
3.8.	Siembra de los Cladodios	30
3.9.	Agua de Riego Utilizada en el Experimento	34
3.10.	Variables Evaluadas en las Etapas de Trabajo	37
3.10.1	Efecto de las temperaturas sobre los cladodios	37
3.10.2	Caracterización del crecimiento de los cultivares utilizados.	37

3.10.2.1	Largo del cladodio madre	37
3.10.2.2	Ancho del cladodio madre	37
3.10.2.3	Grosor del cladodio madre	38
3.10.2.4	Número de brotes	38
3.10.3.	Análisis químico de los tratamientos	38
3.10.4.	Biomasa fresca y seca de la raíz	38
3.11.	Análisis Estadístico	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1.	Primera Etapa	40
4.2.	Efecto de las Temperaturas Sobre los Cladodios	40
4.3.	Largo del Cladodio Madre	40
4.4.	Ancho del Cladodio Madre	41
4.5.	Grosor del Cladodio Madre	43
4.6.	Número de Brotes	44
4.7.	Efecto de la Leonardita en el Largo del Cladodio	44
4.8.	Efecto de la Leonardita en el Ancho del Cladodio	45
4.9.	Efecto de la Leonardita en el Grosor del Cladodio	46
4.10.	Segunda Etapa	47
4.11.	Efecto de las Temperaturas Sobre los Cladodios	47
4.12.	Variables Largo, Ancho, Grosor y Número de Brotes	50
4.13.	Análisis Químicos Inicial del Suelo	52
4.13.1.	Análisis final del suelo	53
4.14.	Análisis Químico de la Planta	55
4.15.	Biomasa Fresca y Seca de la Raíz	56
5.	CONCLUSIONES	58
6.	BIBLIOGRAFÍA	59
7.	APÉNDICE DE BASES DE DATOS	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Núm.
1.	Taxonomía del nopal	4
2	Días con heladas por periodo de los municipios de Galeana y la localidad Ciénega del Toro	9
3	Días con temperaturas mas bajas a partir de año 2010.	9
4.	Datos de temperaturas y precipitaciones de la localidad La Ascensión del periodo 1981 – 2010, Aramberri N.L..	11
5.	Composicion nutricional de la tuna	17
6.	Superfices cultivadas en los principales estados productores.	19
7.	Comparación del contenido nutrimental de estiércol bovino y la gallinaza	23
8.	Características químicas y físicas de sustratos	25
9.	Porcentaje para la mezcla de sustratos	25
10.	Descripción de los tratamientos utilizados en la primera etapa utilizando el suelo de La Ascensión cercano a las nopaleras seleccionadas.	27
11.	Tratamientos utilizados en la segunda etapa utilizando suelo La Ascensión y diferentes abonos orgánicos	28
12.	Datos de medidas de los cladodios antes de iniciar el experimento.	32
13.	Peso seco, húmedo y diferencia de macetas	35
14.	Análisis del agua de riego	36
15.	Largo, ancho, grosor y brotes de los cuatro cultivares evaluados	51
16.	Comparación de medias del ancho y grosor en los tratamientos	52
17.	Propiedades químicas del suelo usados en el experimento	53
18.	Concentraciones de las medias finales de los nutrientes de los tratamientos usados en el experimento	54
19.	Concentraciones medias de N, P, K, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu y valor de pH en los tratamientos	55
20.	Concentraciones de N, P, K y MO en los cultivares usados en el experimento	56
21.	Comparación de medias de los datos obtenidos de la raíz del cladodio madre	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Núm.
1.	Nopal de tuna roja.	4
2.	Perspectiva y seguimiento de los frentes fríos 2018 - 2019.	6
3.	Mapa de regionalización de Protección Civil de Nuevo León.	7
4.	Comité del Sur del estado de N.L. donde se encuentran ubicado el municipio de Aramberri 07 y marcado en un círculo negro la localidad La Ascensión..	8
5.	Ejemplo de la raíz de un cladodio de tuna blanca	12
6.	Ejemplos de tallos o cladodios a) tuna roja, b) tuna amarilla, c) tuna blanca.	13
7.	Ejemplo de flor de un nopal tunero	14
8.	Ejemplo del fruto o tuna del nopal tunero	14
9.	Ejemplo de areola, espina y ahuate de un nopal tunero	15
10.	Nopal tuna amarilla	16
11.	Nopal tuna roja	16
12.	Nopal tuna blanca.	16
13.	Mineralización de los abonos orgánicos	24
14.	Cultivares de nopal utilizados: (a)tuna amarilla , (b) tuna blanca, (c) tuna roja y (d) testigo Villanueva.	26
15.	Croquis de la distribución de tratamientos en campo	28
16.	Mezcla del suelo recolectado.	29
17.	Aplicación de lombricomposta y leonardita	29
18.	Peso y siembra de los nuevos tratamientos	30
19.	Proceso de selección y siembra de cladodios	31
20.	Medición y peso de cladodios	33
21.	Saturación del riego y peso húmedo de macetas	34
22.	Crecimiento del largo del cladodio madre en diez fechas de evaluación de los cuatro cultivares de nopal	41
23.	Incremento en el crecimiento del ancho de los cladodios madre de los cuatro cultivares de nopal	42

24.	Crecimiento del grosor del cladodio madre de los cuatro cultivares de nopal	43
25.	Efecto de la leonardita en el largo del cladodio madre	44
26.	Efecto de la leonardita en el ancho del cladodio madre	45
27.	Efecto de la leonardita en el crecimiento del grosor del cladodio madre	46
28.	Efecto de la nevada sobre diferentes cultivares tuneros evaluados	47
29.	Número de brotes por mes en el periodo 2021 - 2022	49
30.	Total de brotes por variedad	50
31.	Efecto visual de los tratamientos en la raíz de los cultivares	57

INDICE DE ÁPENDICE

Cuadro	Descripción	Página
1A.	Temperaturas del mes de octubre 2020	64
2A.	Temperaturas del mes de noviembre 2020	65
3A.	Temperaturas del mes de diciembre 2020	66
4A.	Temperaturas del mes de enero 2021	67
5A.	Temperaturas del mes de febrero 2021	68
6A.	Temperaturas del mes de marzo 2021	69
7A.	Temperaturas del mes de abril 2021	70
8A.	Temperaturas del mes de mayo 2021	71
9A.	Temperaturas del mes de junio 2021	72
10A.	Temperaturas del mes de julio 2021	73
11A.	Temperaturas del mes de agosto 2021	74
12A.	Temperaturas del mes de septiembre 2021	75
13A.	Temperaturas del mes de octubre 2021	76
14A.	Temperaturas del mes de noviembre 2021	77
15A.	Temperaturas del mes de diciembre 2021	78
16A.	Temperaturas del mes de enero 2022	79
17A.	Temperaturas del mes de febrero 2022	80
18A.	Temperaturas del mes de marzo 2022	81
19A.	Temperaturas del mes de abril 2022	82
20A.	Temperaturas del mes de mayo 2022	83
21A.	Datos de medidas de cladodio madre y raíz	84
22A.	Propiedades químicas en los brotes de los cladodios madre	85

RESUMEN

En la Ascensión, municipio de Aramberri N.L., existen nopales tuneros que han tolerado las bajas temperaturas que se han presentado en la localidad de -12 °C y aun así, siguen creciendo y produciendo frutos y nopalitos, una característica propia de estos materiales, es que llegan a una altura que rebasa los 5 m y su grosor de tallo es de más de 1 m, indicando que han sobrevivido por muchos años. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los diferentes tipos de materia orgánica en estos nopales que son tolerantes a bajas temperaturas. Se seleccionaron nopaleras de tuna roja, tuna amarilla y tuna blanca que presentaban las características antes mencionadas para recolectar cladodios, además de contar con un testigo el cultivar Villanueva, al sembrarlos se les aplicó lombricomposta, leonardita, peat moss y gallinaza para formar tratamientos. Para ello se evaluaron las siguientes variables: largo, ancho y grosor de cladodio, número de brotes, minerales contenidos en el suelo, biomasa de planta y raíz. Los resultados mostraron que hay diferencia en el crecimiento cuando se aplica materia orgánica. Los cultivares con mayor crecimiento fueron de tuna blanca que tenían gallinaza, lombricomposta y leonardita, seguido de ahí fue el de tuna amarilla que tenían leonardita y lombricomposta, para el caso de mejor cultivar en mayor cantidad de brotes fue el Villanueva.

Palabras clave: cladodios, gallinaza, lombricomposta, leonardita.

ABSTRACT

In La Ascensión, municipality of Aramberri N.L., there are prickly pear fruit plants, that have tolerated low temperatures, that have occurred in the locality of -12 °C and even so, they continue to grow and produce fruits and tender prickly pear, a characteristic of these materials, can reach a height that exceeds 5 m and their stem thickness is more than 1 m, indicating that they have survived for many years. The objective of this project, is the evaluation the effects of different kinds of organic material in this prickly pear plants that are tolerant to low temperatures. The cultivars that have been selected are: red prickly pear, yellow, and white. These cultivars were used to recollect cladodes, and also from the Villanueva cultivate. When they been sown applied: vermicomposting, leonardite, peat moss and chicken manure were applied to make different treatments. In order to make the evaluation, were used the following variables: cladode large, size and the thickness, number of buds, minerals contained in the soil, plant and root biomass.

The results showed that there is a difference in growth when organic matter is applied. The cultivars with the highest growth were the white prickly pear that had chicken manure, vermicompost and leonardite, followed by the yellow prickly pear that had leonardite and vermicompost, in the case of the best cultivar with the greatest number of shoots, it was Villanueva.

Keywords: cladodes, chicken manure, vermicomposting, leonardite.

1. INTRODUCCIÓN

Las nopaleras toleran el frío en zonas altas de la República Mexicana, y Nuevo León no es la excepción, estas han sobrevivido a pesar de bajas temperaturas registradas en cada localidad gracias a la tolerancia de los materiales genéticos. Algunas de estas nopaleras se encuentran en la Ascensión, municipio de Aramberri N.L. las cuales se identifican por el grosor de sus tallos (más de 1 m) y altura de las plantas que rebasan los 5 m, lo cual indica que tienen años produciendo frutos, tal como lo indican pobladores de la localidad, que comentan la edad de 80 años desde su plantación, y han sobrevivido a temperaturas, hasta -12°C.

Las plantas sobrevivientes a las heladas, juegan un papel socioeconómico importante, tiernos conocidos como nopalitos son alimento a la población, los cladodios maduros se usan como forraje para alimentar ganado y sus frutos (tunas) son consumidos como alimento para el ser humano y ganado.

La materia orgánica es benéfica para el cultivo del nopal (González, 1998). La fertilidad natural del suelo se beneficia al aplicarle estiércoles o materiales compostados, que son más ricos en nutrientes para las plantas (Blanco *et al.*, 2008). Al reconocer que estas nopaleras han tolerado temperaturas contrastantes que se registran en la Ascensión, N.L. sin un manejo agronómico específico o sistema de riego adecuado para su crecimiento y desarrollo. La presente investigación evaluó la producción de cladodios tolerantes al frío, observando su crecimiento y comportamiento y desarrollo con sistema de riego y sustratos que suministran más nutrientes a la planta.

La obtención de material genético fue extraída de nopaleras longevas, al coleccionar utilizaron cladodios de 3 cultivares con las siguientes características: color del fruto y grosor de tallo mayor a 1 m y un testigo de la variedad Villanueva. Por lo anterior la investigación pretende preservar y multiplicar el material por medio de su desarrollo fenológico. El trabajo se realizó en dos etapas, en la primera etapa se utilizaron sustratos como leonardita y lombricomposta y en la segunda etapa se agregó gallinaza y peat moss para ver el desarrollo de los cultivares

1.1. Hipótesis General

El crecimiento de los cultivares tuneros longevos de las zonas altas del estado de Nuevo León, han tolerado bajas temperaturas, por lo tanto, el rendimiento de nopalito se verá beneficiado con la aplicación de materia orgánica.

1.2. Objetivo General

Evaluar diferentes tipos de materia orgánica en los cultivares de nopal tunero y de verdura en las zonas altas de Aramberri N.L.

1.3. Objetivos Específicos

Caracterizar diferentes materiales orgánicos en el comportamiento vegetativo y contenido nutricional de tres materiales de la región.

Caracterizar el crecimiento de tres cultivares tuneros y uno de producción de nopalito en la zona de Aramberri N.L.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Cultivo de Nopal

El nopal (*Opuntia spp*) es una planta que para los mexicanos representa un elemento muy relevante en las cactáceas (Bravo-Hollis, 1978). Estas especies constituyen un grupo de cultivos para la producción de verdura, forraje y tunas adaptadas a las condiciones de climas áridos y semiáridos del país (ASERCA, 1999). El cultivo de nopal puede seguir produciendo frutos y nopalitos durante años a pesar de las bajas temperaturas que se registren, esto gracias a que son tolerantes a las sequías extremas y bajas temperaturas (Guevara *et al.*, 2011), esto es una ventaja para los habitantes de estas zonas donde las temperaturas son limitantes por sus niveles extremos para otros cultivos, pero no para el cultivo de nopal (Landeroy y Cruz, 2005).

Las cactáceas incluyen alrededor de 130 géneros y 500 especies en el mundo, estas se emplean como alimento, como cerco vivo o control de degradación del suelo por evitar o decrementar la erosión tanto eólica como hídrica (Gurbachan, 2003). Las cactáceas pueden producir mayor cantidad de materia seca por milímetro de lluvia que cualquier otro tipo de planta gracias a su metabolismo fotosintético que se conoce como metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC).

2.2. Taxonomía del nopal

El nopal es una planta característica de los paisajes mexicanos, su distribución es principalmente en las zonas áridas, aunque también existe gran diversidad de especies en zonas tropicales, subtropicales y templadas. El mayor número de géneros y especies de toda América se encuentra en México (Helia Bravo, 1978).

Se conoce como nopal a las especies del género “*Opuntia*” de la familia “*Cactaceae*”. Helia Bravo, (1978) indica en su libro *Cactáceas de México* que los nopales presentan 2 géneros *Opuntia* y *Nopalea*.

El género *Opuntia* presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies. El género *Nopalea* presenta 10 especies de las cuales “*Nopalea Cochenillifera*” es utilizada como Nopal Verdura. De las 104 especies de *Opuntia* y 10 de *Nopalea*, 15 especies son empeladas para forraje, 5 para fruta y 6 para Verdura (2 de *Opuntia* y una de *Nopalea*.).

Cuadro 1. Taxonomía del nopal Helia Bravo (1978).

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotiledónea
Subclase	Dialipétalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Géneros	Opuntia y Nopalea



Figura 1. Nopal de tuna roja. Fuente: Fotografía tomada en la localidad de la Ascensión (5/10/20).

2.3. Tolerancia al Frio en Nopal Tunero (*Opuntia Spp.*)

El nopal tunero se desarrolla bien en diferentes ambientes, desde zonas áridas a nivel del mar hasta los territorios de altitudes similares a los Andes de Perú. En regiones tropicales de México donde las temperaturas siempre están sobre los -5 °C o áreas de Canadá que llegan a -40 °C en el invierno, siendo un recurso genético de interés para zonas ecológicas muy diversas (Nobel, 1999).

Las temperaturas medias anuales entre 12-34 °C desarrollan bien el fruto (tuna) del nopal, la temperatura óptima oscila entre los 16 y 23 °C, las plantaciones jóvenes se ven afectadas al presentarse heladas de 10 °C. El número de flores se disminuye al presentarse bajas temperaturas (promedio diario menor a 15 °C) provocando que el periodo de maduración se alargue provocando que llegue hasta después del invierno. Si la temperatura diaria llega a un promedio de 25 °C en fructificación, la maduración de los frutos es corta, por lo que se tiene que hacer una rápida cosecha para evitar que los frutos pierdan su calidad comercial (Sudzuki *et al.*, 1993; Ríos y Quintana 2004; Álvarez, 2007).

Las precipitaciones anuales adecuadas para la producción de nopal deben ser de 116 a 1805 mm anuales, la ideal es de 400-750 mm anuales. El crecimiento del cultivo se ve limitado con precipitaciones mayores a 1000 mm o menores a 200 mm anuales, si este nivel de precipitación se presenta se ocasionará enfermedades fúngicas y daños por insectos con excesos de humedad (Álvarez 2007; Sudzuki *et al.*, 1993). El desarrollo del cultivo es mejor en suelos arenosos, calcáreos, con al menos 30 cm de profundidad, bien drenados, pH 6.5- 8.5 y pedregosos (Ríos y Quintana, 2004).

2.3.1. Antecedentes del clima en las zonas altas del sur del estado de Nuevo León.

Ramírez, (2014) menciona que la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0 °C es una helada. La forma de sublimación del vapor de agua que se encuentra sobre los objetos es una cubierta de hielo, presentándose en las noches de invierno por falta de calor, acompañada de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan valores mínimos, que pueden descender a 2 °C o aún más.

La temporada de frentes fríos en el sur del estado, se caracteriza por presentar bajas temperaturas que producen nieve y hielo, estos eventos ocasionan riesgos de otros fenómenos hidrometeorológicos como granizo, lluvia, niebla y neblina provocando fuertes pérdidas económicas en la ganadería, agricultura y fruticultura principalmente, generando situaciones de emergencia para la población.

Históricamente Nuevo León se ha visto afectado por temporadas invernales intensas, en la Figura 2 se muestran los antecedentes históricos en materia de los fenómenos hidrometeorológicos antes mencionados.

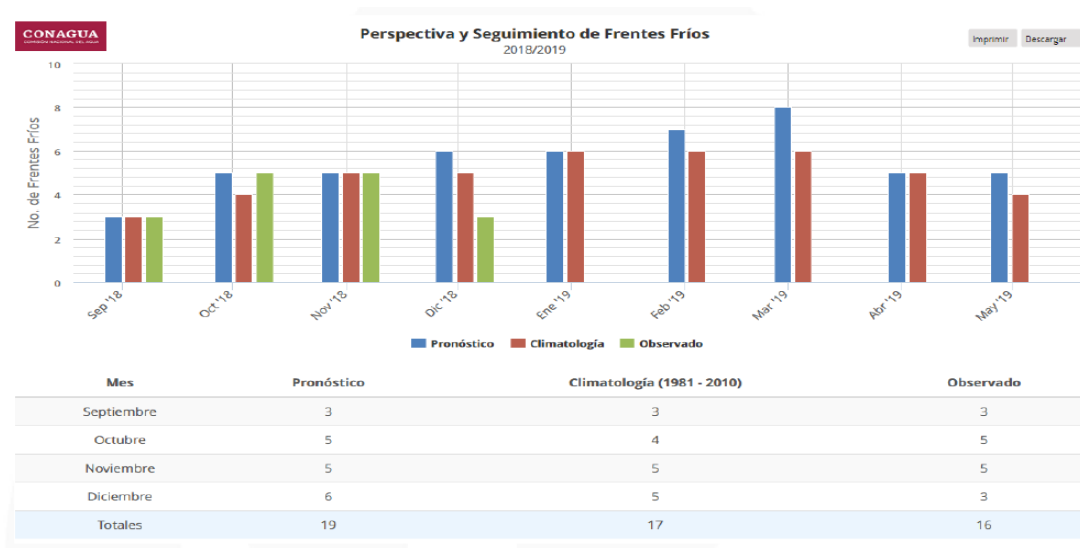


Figura 2. Perspectiva y seguimiento de los frentes fríos 2018 – 2019. Fuente: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/frentes-frios>.

Las lluvias, granizo, el descenso brusco de temperaturas, bajas temperaturas, heladas, nevadas son ocasionadas por los frentes fríos.

En el estado de Nuevo León existen los Comités de Protección Civil que se encargan de establecer medidas de seguridad para todas las personas que puedan ser susceptibles a presentar daños a causa de las bajas temperaturas. En la Figura 3 se muestra un mapa en el que se presentan los comités que existen en el estado de Nuevo León.

Comités de colaboración de Protección Civil

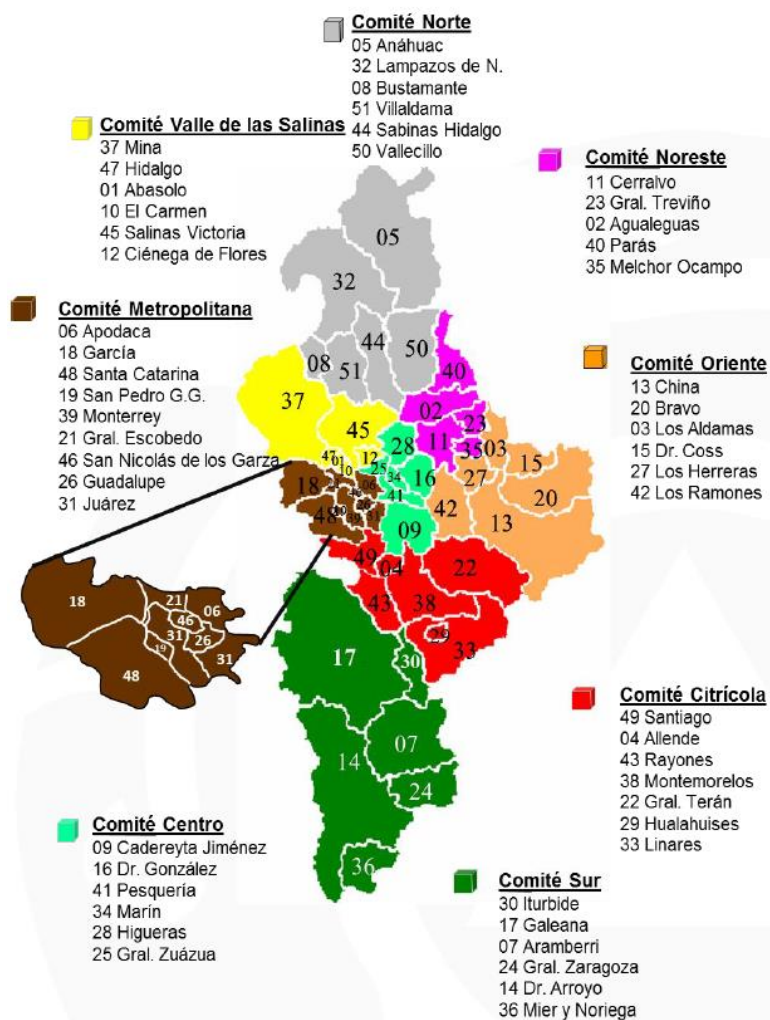


Figura 3. Mapa de regionalización de Protección Civil de Nuevo León. Fuente: (Ramírez, 2014).

La Ascensión se encuentra situada en el municipio de Aramberri en el estado de Nuevo León, se decidió realizar la presente investigación en esta localidad, debido al registro histórico de presentar bajas temperaturas y nopaleras que han sobrevivido a ellas. En la Figura 4 se muestra el municipio de Aramberri representado por el número 07 donde se localiza la localidad de la Ascensión señalada por un círculo negro que se encuentra en el Comité Sur.



Figura 4. Comité Sur del estado de N.L. donde se encuentra ubicado el municipio de Aramberri 07, y marcado en un círculo negro la localidad la Ascensión (Ramírez, 2014).

El registro de los últimos años por los municipios del Comité Sur cercanos a la Localidad de la Ascensión, indican heladas causadas por temperaturas semejantes a la altitud de la localidad.

La cabecera municipal de Galeana tiene una altitud de 1655 msnm se localiza a 70 km de la localidad de la Ascensión, mientras tanto el poblado Ciénega del Toro situada a 94 km de la Ascensión con una altitud de 2140 msnm. Estos poblados registran bajas temperaturas similares a las de la localidad (INEGI, 2015). En el Cuadro 2 se presentan los datos de los días con heladas en las estaciones de medida del estado.

Cuadro 2. Días con heladas por periodo de los municipios de Galeana y la localidad de Ciénega del Toro. Fuente: (INEGI, 2015).

Estación Concepto	Periodo	Mes											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Galeana	1975 - 2013	43	45	16	0	0	0	0	0	1	3	17	53
Ciénega del Toro (Galeana)	1985 - 2013	282	176	166	67	25	14	17	15	39	78	114	195

De este mismo se obtuvieron datos del registro de temperaturas bajo cero en los puntos antes mencionados. En el Cuadro 3 se muestra los datos de estas temperaturas en los lugares cercanos a la Ascensión.

Cuadro 3. Días con las temperaturas más bajas registradas a partir del año 2010. Fuente: (INEGI, 2015).

Estación y año	Mes	Minima	Dia (s)
Ciénega del Toro 2013	Enero	-8	17
	Febrero	-6	2, 28
	Abril	-2	12, 22
	Mayo	-1	7
	Octubre	-4	25
	Noviembre	-5	28
	Diciembre	-7	16

2.4. Cultivo de Nopal Tunero

Desde hace años el fruto del nopal conocido como la tuna ha sido y sigue siendo hasta la actualidad un alimento considerado tradicional entre los mexicanos, desde la época prehispánica adoptándolo como alimento (Pimienta, 1993).

El nopal es conocido como una planta que tiene resistencia a sequías, gracias a su fisiología, su estructura anatómica y morfología, que le brindan una alternativa real para el uso de los suelos de las regiones áridas y semiáridas del país, siendo el 60% del territorio nacional (Pimienta, 1993).

La cactácea ha sobrevivido a heladas registradas en la localidad de La Ascensión y aun así siguen produciendo nopalitas y frutos, de tal manera siguen creciendo y desarrollándose hasta tomar características que hacen de manera sencilla identificarlas. Las nopaleras tienen un grosor de tallo que pasa de 1m y su altura puede rebasar los 5 m indicando que tienen más de 80 años establecidas (consultado con los pobladores de la localidad).

En el Cuadro 4, indica el registro de datos climáticos que se tiene entre 1981 y 2010, tales como: promedios de temperaturas máximas, medias y, que se ha tenido en la localidad en este periodo (CONAGUA, 2015). De acuerdo con la Base de Datos las temperaturas mínimas más bajas, (por debajo de los 0°C) se presentaron al inicio del año: enero, febrero, marzo, abril y al final del año: septiembre, octubre, noviembre y diciembre, mientras que los meses más cálidos son en mayo, junio, julio y agosto.

Cuadro 4. Datos de temperaturas y precipitaciones de la localidad La Ascensión del periodo 1981-2010, Aramberri N.L. (CONAGUA, 2015).

Elementos	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Tem. Máxima													
Normal	19.9	22.1	24.8	27.3	28.2	27.6	26.6	27.1	24.9	24.9	23.4	20.7	24.8
Máx. Mensual	22.6	25.9	27.3	30.2	31.9	30.5	28.5	29.9	28	28.1	25.1	23.3	
Año de máxima	1982	2008	2006	2006	2010	2010	1982	2009	2010	2010	2010	2010	
Máxima diaria	30.5	31	33	37	38	35	36	39	32	35	31	29	
Tem. Media													
Normal	10.3	11.9	14.3	17	18.1	18.6	18.1	18.3	16.9	15.7	13.2	10.3	15.2
Años con datos	17	15	15	16	16	13	15	16	15	16	13	12	
Tem. Mínima													
NORMAL	0.8	1.8	3.9	6.7	8	9.6	9.7	9.4	8.8	6.5	3	-0.1	5.7
Mín. Mensual	-4	-0.9	1.2	3.5	4.9	6.4	6	6	5.5	3.4	-0.3	-4.4	
Año de mínima	1999	1998	1998	1983	1984	1984	1985	2000	2000	2010	1997	1997	
Mínima diaria	-11	-10	-8	-3	0	0	3	3	-5	-6	-7	-10	

2.4.1. Componentes del nopal y su función

Raíz: el sistema radicular es perenne, extenso y superficial, encargado de realizar el intercambio gaseoso de la planta durante el día. Las raicillas secundarias tienen pelos absorbentes, su estructura y funcionamiento permiten captar la mayor cantidad de agua en los periodos de lluvias. Las raíces del nopal son las que hacen que la planta sea tolerante a las sequias por varias formas: por su reducción de su permeabilidad y restricción de la superficie de raíces, debido a que tienen una capa de abscisión que evita la pérdida de agua en suelos secos (FAO, 2018).

Además, son capaces de absorben pequeñas cantidades de agua de lluvias ligeras gracias a las raicillas que se desarrollan después de la llovizna y desaparecen cuando el suelo se seca. Estas características antes mencionadas son por las cuales los nopales son tolerantes a la sequía y ahorran agua convirtiéndolas en plantas altamente resistentes a las sequias (FAO, 2018).



Figura 5. Ejemplo de la raíz de un cladodio de tuna blanca. Fotografía tomada en la Facultad de Agronomía Unidad La Ascensión.

Tallo: Llamado cladodio, cuando están tiernos son suculentos y poco lignificados. Al desarrollarse el tallo del embrión forma la primera penca. El nopal es una planta de tipo MAC (Metabolismo de Ácido Crasuláceo) puede almacenar agua en sus cladodios y por esta característica es resistente a las sequías (Nobel, 1994,1995).

Buxbaum, (1965) menciona que las cactáceas se caracterizan por sus yemas aéreas cortas (tienen espinas y pelos), un tallo suculento de color verde y no presenta follaje. Los tallos son suculentos, de forma ovoide llegan a medir de 30 a 40 cm de largo dependiendo de la edad de la noplera y de 18 a 25 cm de ancho.

El tallo se forma por la epidermis, córtex, tejido vascular en forma de anillo y organizado en forma de vasos vasculares que se separan por el tejido del parénquima y la medula (eustela), formando la parte más suculenta.



Figura 6. Ejemplo de tallos o cladodios a) tuna roja, b) tuna amarilla y c) tuna blanca.
Fuente: Fotografía tomada en la localidad de La Ascensión.

Flores: crecen en la base de las areolas, funcionando como yemas florales o vegetativas. El cáliz está unido al ovario y el limbo. Las areolas que se desarrollan muy temprano en la axila del primordio de la hoja son las yemas florales. Evolucionan de una masa de células, convirtiéndose en un meristemo apical.

Las espinas se desarrollan en etapa temprana estas pueden variar durante periodo largo y corto cuando el meristemo entra en dormancia, después crece como un brote largo formando la flor (Pimienta Barrios, 1990).

Reyes Agüero y Valiente Banuet, (2006) hicieron una revisión sobre la biología reproductiva de las especies *Opuntia*, se observó que, en comparación con otras cactáceas, el meristemo puede producir solamente un cladodio o una flor.

La Figura 7 muestra un ejemplo de la forma de las flores de nopal tunero, esta imagen se obtuvo del libro de Leonardo Manrique y Jimena Manrique, Flora y fauna mexicana.

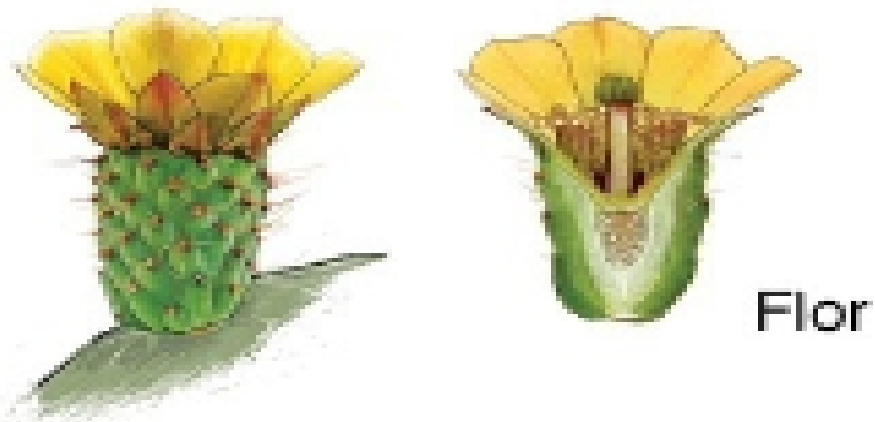


Figura 7. Ejemplo de la flor de un nopal tunero. (Leonardo y Jimena Manrique, 1988)

Fruto: Baya ovoide, cilíndrica, de varios colores, umbilicada en el extremo superior, pericarpio correoso, semillas de color variable (Chávez, 1994). La Figura 8 muestra un ejemplo del fruto del nopal tunero, comúnmente es conocido como tuna, dependiendo del tipo de nopal pueden ser de diversos colores, dulces su forma y tamaño también depende de la variedad del nopal que sea, es consumida tanto por las personas como los animales.



Figura 8. Ejemplo del fruto o tunas del nopal tunero. (Leonardo y Jimena Manrique, 1988).

Otras partes corresponden a areolas, espinas y ahuates. En la Figura 9 se observa un ejemplo de estas partes.

Las areolas: estructuras características de cactáceas en ellas nacen las espinas y dan origen a otra penca, a una flor o a las raíces.

Los ahuates: espinas diminutas que se desprenden de forma fácil, siendo características del género *Opuntia*.

Las espinas: crecen en las areolas con hojas diminutas que van desapareciendo conforme la espina va creciendo, aumentando de tamaño y endureciéndose.



Figura 9. Ejemplo de areola, espina y ahuates de un nopal tunero. (Leonardo y Jimena Manrique, 1988).

2.5. Cultivares Utilizados en el Experimento

Existen 300 especies de tunas, el humano solo utiliza entre 10 y 12. La especie *Opuntia ficus indica* se cultiva y es utilizada como alimento para la población y los animales, también, además se emplea para realizar cosméticos (Lomas *et al.*, 2010).

En nuestro país se encuentran 4 variedades de tunas que se diferencian por la coloración del fruto y la presencia o ausencia de espinas. La tuna necesita temperaturas entre 12 a 34°C para su desarrollo, el rango óptimo es de 11 a 23°C y precipitaciones entre 400 a 800 mm. La maduración se inicia a los 4 a 5 meses de la brotación o floración. Esta es característica porque cambia el color de la pulpa la cual madura antes que la cáscara (Rosero *et al.*, 2011).

Nombre científico: *Opuntia ficus indica* (L.) Miller

Nombre común: Nopal tuna amarilla



Figura 10. Nopal de tuna amarilla.

Grosor: 1.5 m Altura: 5.9 m

Opuntia megacantha

Nopal Tuna Roja



Figura 11. Nopal de tuna roja.

Grosor: 1.3 m Altura: 5 m

Nombre científico: *Opuntia albicarpa*

Nombre común: Nopal de tuna blanca



Figura 12. Nopal de tuna blanca.

Grosor: 1.2 m Altura: 4.9 m

2.5.1. Valor Nutritivo

La tuna aporta diferentes nutrientes en el Cuadro 5 se presenta su composición nutricional:

Cuadro 5. Composición nutricional de la tuna.

Parámetro	Valor aproximado
Ceniza (%)	0.52 ± 0.03
Proteína (%)	0.27 ± 0.03
Grasa (%)	0.13 ± 0.69
Fibra cruda (%)	0.72 ± 0.43
Sólidos solubles totales (°Brix)	9.67 ± 0.24
Humedad (%)	84.86 ± 0.02
Acidez titulable (%)	0.074 ± 0.01
pH	3.32 ± 0.02

Fuente: Aquino *et al.*,2012

2.6. Usos y Aplicaciones del Nopal Tunero

Beneficios alimentarios de la tuna

El fruto consumido directamente o en jugos, se elaboran también mermeladas y postres. Al ingerirlas tiene efectos benéficos y medicinales porque son diuréticos. Su sabor es refrescante y varía entre dulce y ácido, para poder consumirla debe tener color rojo o amarillo el cual indica su maduración.

La tuna presenta características y propiedades químicas, las cuales son utilizadas para hacer los siguientes productos: vinos, licores, refrescos, pulque, atole, aguas, miel de tuna o melcocha, queso, mermeladas, jaleas, gelatinas, deshidratados para dulces, barras de cereal o fruta deshidratada, salsas etc.

La semilla se utiliza para hacer aceites, de la cascará se obtiene forraje y tallo se emplea para la producción de gomas. Además, de albergar el insecto *Dactulopiscoccus* "cochinilla del carmín" el cual es cotizado por el colorante que produce la hembra.

La tuna beneficia en la salud a las personas ayudando en el tratamiento de síntomas cardiacos y la digestión al consumirla en fresco. También se fabrican pomadas para quemaduras de sol y se hacen suplementos dietéticos que ayudan a bajar el nivel de azúcar en la sangre.

2.7. Importancia Socioeconómica

El nopal tunero se utiliza como sustento para la población rural, debido a que es una fuente de alimento, además es utilizado para tener ingresos para los productores. Tiene gran importancia socioeconómico y agroecológico porque ofrece diferentes formas de aprovechamiento, entre ellas la industria alimenticia (humana y animal), la medicina, la cosmetología, manejo biotecnológico, conservación de suelos, obtención de fruta, hortaliza y forraje: para cercos de casa, jardines y parcelas agrícolas, y por la gran diversidad de productos industrializados como queso de tuna, melcocha y jugos (De la Rosa y Santa maría, 1998).

El nopal (*Opuntia spp*) es de gran importancia económica, social y cultural en México, a la fruta como a la planta del cactus se le conoce como tunal (Corrales y Flores, 2000).

2.8. Principales Estados Productores

Las nopaleras tuneras son fáciles de encontrar en México, principalmente en las zonas áridas del altiplano, debido a que muchos pobladores dependen en gran medida de la tuna, para consumo o la fruta colectada o bajo cultivo. En los últimos años la importancia del nopal tunero se ha incrementado, reflejándose en el aumento de las superficies cultivadas (Pimienta, 1993).

Las plantaciones comerciales de tuna se localizan en 9 entidades del país de las cuales son las más importantes en producción y por su aportación al mercado. En el Cuadro 6 se muestran los principales estados que son productores de tuna.

Cuadro 6. Superficies cultivadas en los principales estados productores.

Ubicación	Sup. Sembradas	Sup. Cosechadas	Producción
	Ha	Ha	Ton
Aguascalientes	855	700	2,247
Guanajuato	778	694	6,657
Hidalgo	5,438	4,397	23,778
Jalisco	2,252	1,941	9,623
México	15,835	15,835	113,534
Oaxaca	74	32	81.15
Puebla	2,839	2,831	52,260
San Luis Potosí	4,567	1,864	10,295
Zacatecas	18,812	14,696	104,188

Fuente: Sagar. Anuarios estadísticos de la producción agrícola de los estados unidos mexicanos 2007.

2.9. Recursos Edáficos y Climáticos

En comparación de otros cultivos las especies de *Opuntia* se adaptan para crecer y producir en regiones de escasez de agua, suelos pobres y alta temperatura, siendo estas condiciones adversas para la producción (Nobel, 1994). Son encontradas en una variedad de ambientes, desde el desierto, áreas bajo el nivel del mar a áreas de gran altitud o en regiones tropicales de México.

El nopal se desarrolla adecuadamente con las siguientes condiciones climáticas: temperaturas de 16-28° C; precipitación de 150-1800 mm., altitud de 800 - 1800 msnm. Estos rangos son óptimos para el desarrollo de la planta de tuna. Puede adaptarse a las condiciones o áreas destinadas después de establecer la plantación, sin embargo, se requieren hacer labores y cuidados para lograr buenos rendimientos y duración de la plantación.

Suelo

Los suelos deben tener un pH 6.5 - 8.5, en cuanto a la textura puede ser franca, franco arcilloso arenosa, arenosos, franco arenoso. Los mejores para la siembra de nopal tunero son los suelos de origen calcáreo con textura arenosa, con buen drenaje, profundidad media y con un pH neutro o de preferencia alcalino. Deben tener buena

fertilidad natural y al menos 30 cm de profundidad para garantizar un buen vigor de las plantas.

Agua

El cultivo de nopal tunero tolera la falta de agua, para establecer una plantación para producción de verdura se debe tener cerca una fuente de agua para obtener mejores rendimientos. La cantidad y calidad del riego son factores de importancia para producción del cultivo para forraje y fruto.

2.10. Uso de Materia Orgánica

La aplicación de abonos orgánicos al suelo es el método de fertilización para los cultivos de nopal tunero, también se usan fertilizantes químicos o la combinación de ambos que sirve para mejorar el desarrollo del nopal (Pimienta-Barrios,1990; Murillo-Amador *et al.*, 2005). La materia orgánica es la base para el desarrollo de agricultura orgánica. Considerando dos aspectos en la agricultura orgánica:(1) el manejo ecológico del suelo y la nutrición, y (2) diversidad estructural y de procesos (Brenes, 2003). Conteniendo el 5% de N, otros elementos esenciales para las plantas como el fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Anónimo, 1988; Graetz, 1997).

2.10.1. Importancia de la materia orgánica

Tiene un papel esencial en el suelo porque modifica sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas propiedades están interrelacionadas. Sin embargo, existe un problema del suelo en los agroecosistemas mediterráneos el cual es la pérdida de materia orgánica y el riesgo de desertificación cuando se baja el umbral de 1.7%. Para acabar con este déficit de materia orgánica se utilizan técnicas de conservación para incorporar residuos del cultivo al suelo. Otra alternativa es la incorporación de materia orgánica exógena, como residuos orgánicos, los cuales ayudan a mejorar la fertilidad de los suelos.

Los compost de calidad mejoran los suelos aumentando la producción de las cosechas. En un experimento se comprobó que la aplicación de compost triplica y mejora la producción de los cultivos (Madejón *et al.*, 2001). También se ha discutido y

valorado el uso de otros compost como los que proceden de biosólidos o residuos sólidos (Stephen, 2009).

2.11. Lombricomposta

Para mejorar la producción del cultivo de nopal se añade al suelo humus de cualquier tipo de residuo vegetal y/o animal. Este se produce mediante la lombriz, lo que permite que se incorporen colonias de bacterias que benefician el suelo, mejorando las condiciones físicas y químicas de los suelos, beneficiando las plantas cultivadas (Pérez-Herrera, 2002).

Las sustancias húmicas se derivan de compuestos orgánicos siendo de colores marrón, pardo y amarillo, estos se extraen del suelo mediante soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos (Kononova, 1983).

La mayoría de las sustancias húmicas se unen con la parte mineral del suelo, quedando sólo una pequeña fracción en estado libre, para pasar a estado soluble se precisa destruir esta unión (Kononova, 1982). A pesar de los diferentes tipos de suelos, restos vegetales en descomposición, los ácidos húmicos tienen una estructura muy semejante (Stevenson y Elliott, 1989).

Con respecto a la producción de lombrihumus, el crecimiento y reproducción de la lombriz es mejor cuando no tiene rangos estrechos de condiciones ambientales en el suelo. La temperatura adecuada está entre 20-25 °C, cuando se presentan temperaturas de 15-20 °C, las lombrices entran en un período de latencia, en el cual dejan de reproducirse, crecer y producir lombricomposta, alargando el ciclo evolutivo, debido a esto los cocones (huevos) no eclosionan y pasan mayor tiempo encerrados en embriones hasta encontrar condiciones favorables, sucediendo lo mismo en las lombrices adultas, quedándose en este estadio por tener condiciones desfavorables (Martínez-Cerdas, 1997) las temperaturas que rebasan los 26 °C, y por debajo de 0 °C son letales para ellas. El suelo debe tener un pH de 7.0 (neutro), mientras que valores de pH's por debajo de 5.5 (ácidos) y arriba de los 8 (alcalino) presentan fallas reproductivas porque afectan severamente el crecimiento (Shields, 1977).

El material es de excelentes propiedades para las plantas, debido al gran contenido de microorganismos que contiene. Son altas poblaciones de microorganismos que permiten una mineralización adecuada del lombrihumus, en beneficio de la nutrición de las plantas.

2.11.1. Ventajas

- ❖ Proporciona a los suelos permeabilidad en el aire como para el agua.
- ❖ Aumenta la liberación de nutrientes, así como la retención de agua y la capacidad de almacenamiento que requieren las plantas.
- ❖ Tiene una alta carga microbiana que resulta de la actividad biológica del suelo.

2.12. Leonardita

Es una forma oxidada de lignitos de carbón, su nombre se deriva en honor al Dr. A.G. Leonard, quien fue el primer científico que estudió sus propiedades. La leonardita se utiliza para la extracción de ácidos húmicos en los últimos años (Sugier *et al.*, 2013). Esta constituido de carbono (55% en peso), y materiales húmicos (moléculas orgánicas complejas como Carboxilos, Hidroxilos y Carbonilos).

Los ácidos húmicos son materiales que intervienen en los enlaces químicos de un compuesto (Schwarzenbach *et al.*, 1993). Diferentes estudios demuestran que la leonardita tiene capacidad adsorbente de metales pesados (Lao *et al.*, 2005; Zeledón *et al.*, 2005). Es un material de bajo costo (Zeledón *et al.*, 2007). La estructuración y estabilidad de ha sido escasamente estudiado (López *et al.*, 2006).

2.13. Gallinaza

El manejo agronómico adecuado de la gallinaza proporciona un abono orgánico para la nutrición de los cultivos. Presenta buen aporte de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes. Además, aumenta la materia orgánica, la fertilidad y la calidad al aplicarse en el suelo (Castellanos, 1980).

Para utilizar este abono orgánico es necesario analizarla en un laboratorio para saber que nutrientes aporta y así guiarse para hacer la dosis que se necesite aplicar. Al comparar la gallinaza con otros abonos orgánicos resulta que tiene mayor aporte de nutrientes. En el Cuadro 7 se muestra el contenido nutrimental de la gallinaza comparado con el de estiércol bovino, como se observa en el cuadro la gallinaza tiene mayor aporte de nutrientes lo que lo hace una mejor opción como abono orgánico para la nutrición de cultivos.

Cuadro 7. Comparación del contenido nutrimental del estiércol bovino y la gallinaza (Castellanos, 1980).

Nutrientes	Estiércol bovino	Gallinaza
	Kg/ton	
Nitrógeno	13.2	34.7
Fosforo (P ₂ O ₅)	14.6	30.8
Potasio (K ₂ O)	34.1	20.9
Calcio	36.8	61.2
Magnesio	7.1	8.3
Sodio	5.1	5.6
Sales solubles	50	56
Materia orgánica	510	700

La gallinaza como abono orgánico también tiene una mayor tasa de mineralización, brindando un buen aporte de nitrógeno a los cultivos debido a que en tres semanas el nitrógeno orgánico se mineraliza en un 75%. En la Figura 13 se muestra la mineralización de algunos abonos orgánicos comprados con la gallinaza siendo el mejor.

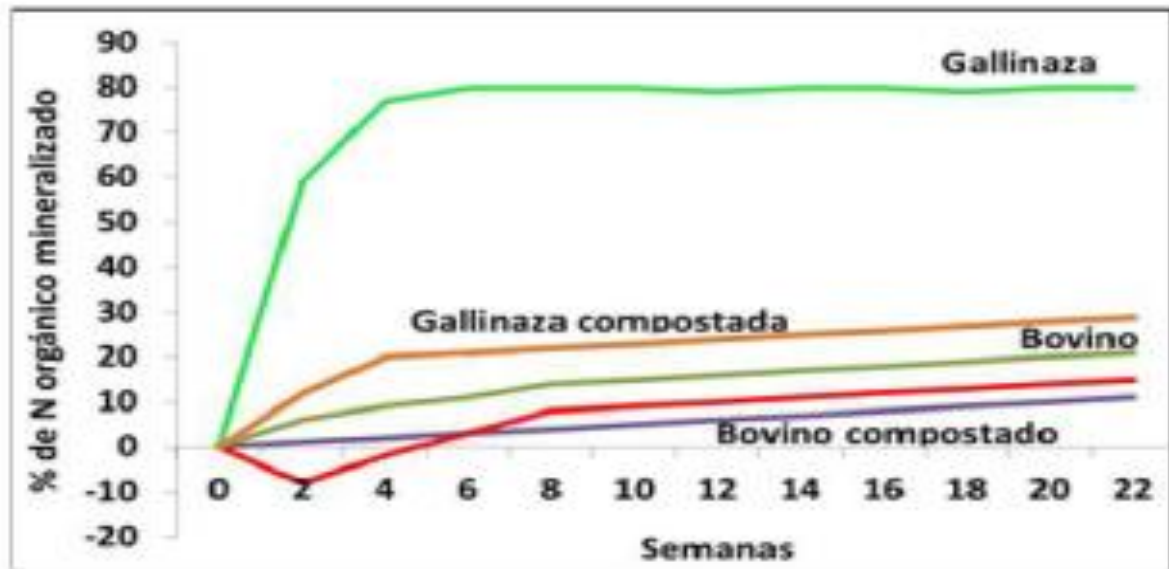


Figura 13. Mineralización de los abonos orgánicos. Fuente: Castellanos y Pratt (1981).

La gallinaza tiene alto contenido de sales, por tal motivo es recomendable llevar un monitoreo muy importante para evitar que su aplicación al cultivo genere acumulación de sales y esto a su vez afecte la disponibilidad de los nutrientes.

2.14. Peat moss

El peat moss llamado turba es un sustrato que se forma por la descomposición de materia orgánica en forma de musgos, es caracterizado por ser como una masa que no pesa mucho es ligera y esponjosa, esto permite a los cultivos condiciones adecuadas para desarrollarse, brindando altos rendimientos.

Las propiedades físicas y químicas que tiene el peat moss dependen de los componentes que lo integren, por esta razón es recomendable mezclarlo con otros sustratos para mejorar las características y así obtener buenos resultados en la producción de cultivos.

Para mezclar el peat moss con otros sustratos se deben de tomar en cuenta varios aspectos principalmente las propiedades químicas y físicas de cada sustrato para formar la mejor mezcla que brinde mayores beneficios a los cultivos y la etapa en la que se encuentra la planta. En el Cuadro 8 se muestran las características físicas y

químicas que aportan algunos de los sustratos más utilizados en la producción de cultivos.

Cuadro 8. Características químicas y físicas de sustratos. Fuente: (Nancy Hernández, 2015).

Sustrato	Propiedades Físicas					Propiedades Químicas		
	Retención de humedad	Aireación	Densidad (kg·m ³)	Estructura	Durabilidad	Origen	CIC	pH
Peat moss	48%	20%	300 - 600	se hincha y contrae	1 año	Orgánico	No	Ácido
Composta	60%	12%	1000 - 1500	Tiende a compactarse	1 año	Orgánico	Alta	Ligeramente ácida
Perlita	45%	35%	110 - 135	Estable	3 años	Mineral	No	Neutro
Vermiculita	35%	25%	80 - 130	Estable	1 año	Mineral	Alta	Neutro
Fibra de coco	40%	16%	150 - 200	Se hincha y contrae	1 año	Orgánico	Alta	Ligeramente ácida

Estas son las propiedades que se deben de considerar para hacer una mezcla de sustratos. Se debe considerar la etapa en la que se encuentra la planta, sabemos que cada cultivo es diferente y necesita diferentes nutrientes dependiendo de la etapa fenológica en la que se encuentre para esto en el Cuadro 9 se muestra un ejemplo de las mezclas que se pueden realizar de acuerdo a la etapa del cultivo.

Cuadro 9. Porcentajes para la mezcla de sustratos (Nancy Hernández, 2015).

Sustrato	Mezcla para Germinación	Mezclas para Desarrollo
Peat moss	70%	10%
Composta	10%	10%
Perlita	20%	20%
Vermiculita	30%	20%
Fibra de coco	60%	40%

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del Área de Estudio

El experimento se estableció en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Unidad la Ascensión. La localización es 24 °19' 03" N, 99° 56' 26" O, con una altitud de 1969 msnm. El clima de la región es templado con temperaturas entre 20 y 30°C en las partes bajas y en la sierra entre 12 y 20°C; la temperatura mínima es de -10°C; en los meses de julio a septiembre se presentan las lluvias, con una precipitación media anual de 425 mm (CONAGUA, 2019).

3.2. Material Vegetal

La colecta del material vegetal se realizó en La Ascensión municipio de Aramberri Nuevo León. Su localización es 24° 19' 22" N, 99° 54' 37" O, con una altitud de 1,980 msnm.

La colecta de los cultivares de nopal tunero son aquellos con diámetro de tallo mayor a 1 m. La selección del material genético es en plantas de 3 cultivares de nopal tunero. Cladodios de Tuna roja (TR), Tuna amarilla (TA) y Tuna blanca (TB), además de un testigo que es de la variedad Villanueva (TV) siendo nopal de verdura (Figura 14), con medidas de 15 a 20 cm de ancho y 25 a 39 cm de largo. Los cladodios se cortaron de la parte del cuello con cuidado para evitar daños, posteriormente se pusieron en la sombra en donde permanecieron 15 días para cicatrizar la herida de corte.



Figura 14. Cultivares de nopal utilizados: (a) tuna amarilla, (b) tuna blanca, (c) tuna roja y (d) testigo Villanueva.

3.3. Descripción de los Tratamientos

El Cuadro 10, presenta la descripción de los tratamientos establecidos en una primera etapa del experimento para probar el efecto que tiene el abono de lombricomposta y la leonardita en la producción del nopal tunero por accesibilidad a la región.

Posteriormente se estableció una segunda etapa descrita en el Cuadro 11, donde el peat moss y gallinaza son combinadas el abono de lombricomposta y la leonardita.

Cuadro 10. Descripción de los tratamientos utilizados en la primera etapa con sustrato de suelo de La Ascensión cercano a las nopaleras seleccionadas.

Tratamiento	Cultivares	Factor suelo (con y sin leonardita)
1	Testigo Villanueva (TV)	Lombricomposta
2	Tuna Roja (TR)	Lombricomposta
3	Tuna Blanca (TB)	Lombricomposta
4	Tuna Amarilla (TA)	Lombricomposta
5	Testigo Villanueva (TV)	Lombricomposta + Leonardita
6	Tuna Roja (TR)	Lombricomposta + Leonardita
7	Tuna Blanca (TB)	Lombricomposta + Leonardita
8	Tuna Amarilla (TA)	Lombricomposta + Leonardita

Cuadro 11. Tratamientos utilizados en la segunda etapa utilizando como sustrato suelo de La Ascensión y diferentes abonos orgánicos.

Tratamiento	Abono 1 + Abono 2	Abono 3
T1- TV	Testigo	
T2- TR	lombricomposta	Peat moss
T3- TB	lombricomposta	Gallinaza
T4- TA	lombricomposta	
T5- TV	Leonardita	
T6- TR	Lombricomposta + Leonardita	Peat moss
T7- TB	Lombricomposta + Leonardita	Gallinaza
T8- TA	Lombricomposta + Leonardita	

3.4. Diseño Experimental

El Diseño experimental es bloques al azar (Figura 15), donde cada tratamiento estuvo representado por una maceta. Se consideran los tres cultivares de nopal (TA, TB, TR) y testigo (TV) y dos tipos de suelo (con y sin leonardita) para la primera etapa de trabajo siendo ocho tratamientos con cuatro repeticiones, dando 32 unidades experimentales. Para la segunda etapa se utilizó el mismo diseño, agregando gallinaza y peat moss en los tratamientos 3 y 7 y 2 y 6 respectivamente.

Bloque o Repetición	Tratamientos							
I	T8	T7	T5	T6	T1	T4	T2	T3
II	T5	T6	T8	T7	T2	T3	T1	T4
III	T7	T8	T6	T5	T4	T1	T3	T2
IV	T6	T5	T7	T8	T3	T2	T4	T1

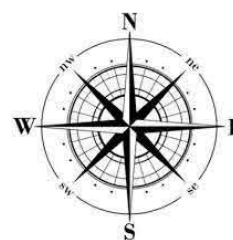


Figura 15. Croquis de la distribución de tratamientos en campo.

3.5. Colecta de Suelo en las Nopaleras Seleccionadas.

El suelo empleado como sustrato para la siembra de cladodios fueron en la Ascensión (tres sitios) cercanos a la nopalera de tuna blanca que encuentra en la Facultad de Agronomía Unidad La Ascensión, con 10 recipientes de 19 litros, otros dos lugares situados en la localidad, en una nopalera de tuna roja con 10 botes de suelo y una nopalera de tuna amarilla recolectando la misma cantidad. El suelo recolectado se cribó para remover raíces, piedras y otras impurezas. El suelo recolectado fue mezclado. En la Figura 16 se muestra el procedimiento.



Figura 16. Mezcla del suelo recolectado.

3.6. Incorporación de Lombricomposta y Leonardita (Primera Etapa)

Para la incorporación de lombricomposta se aplicó a cada maceta 500 g, se realizó el mismo procedimiento para mezclar la leonardita solo que esta se aplicó a la mitad de las macetas en este caso a 16, la cantidad de 250 g a cada una como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Aplicación de lombricomposta y leonardita.

3.7. Aplicación de Peat Moss y Gallinaza (Segunda Etapa)

La incorporación de gallinaza y peat moss al sustrato de los tratamientos (T2 Y T6; T3 y T7 respectivamente) de tuna roja y tuna blanca fue de 500 g con mezcla y homogenización del material.



Figura 18. Peso y siembra de los nuevos tratamientos.

3.8. Siembra de Cladodios

Para sembrar los cladodios primero se pesaron, se midió el largo, ancho y grosor para tener más información de los cultivares. Como se mencionó anteriormente se sembraron en total 32 cladodios de 4 cultivares diferentes (Tuna Amarilla, Blanca y Roja) y un testigo Villanueva de cada una se sembraron 8 cladodios. A cada maceta se le agregó el suelo recolocado de las nopaleras y 500 g de lombricomposta, esto fue para las 32 macetas. En el caso de la leonardita se aplicó la cantidad de 250 g a 16 macetas.

Las macetas se acomodaron de acuerdo a los tratamientos al azar, antes de acomodarlas, se pesó cada maceta para obtener el peso seco. En la Figura 19 se muestra el procedimiento de la siembra.

En el Cuadro 12 se muestran los datos de las medidas del largo, ancho, grosor y peso siendo datos iniciales de cada uno de los cladodios sembrados en el experimento.

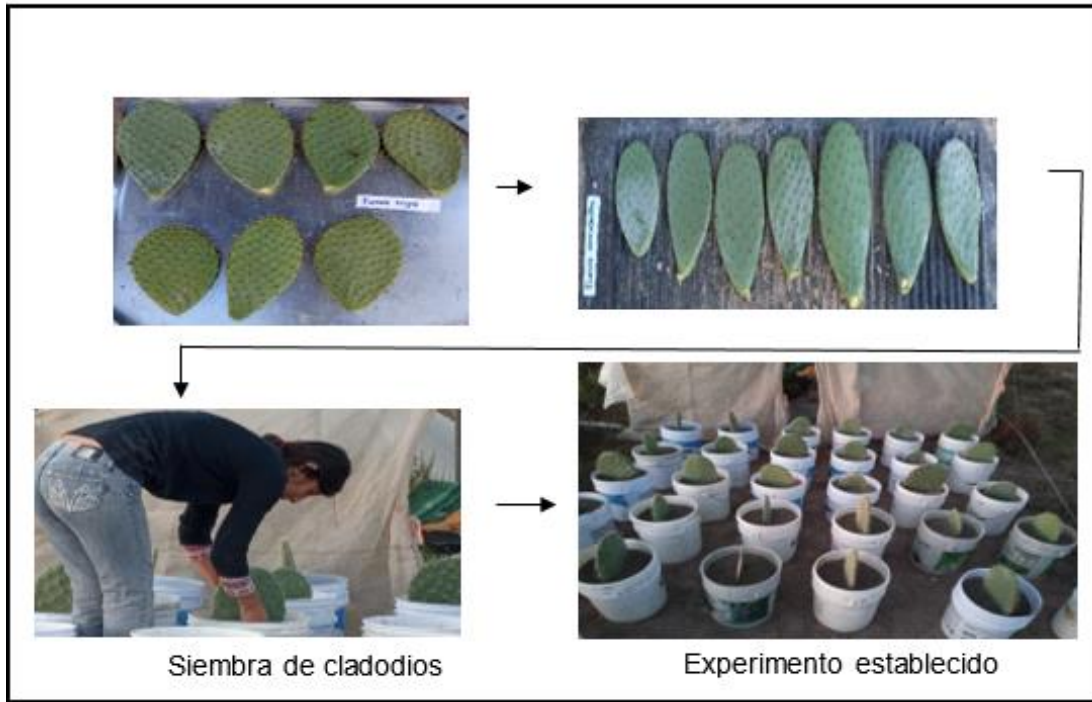


Figura 19. Proceso de selección y siembra de cladodios.

Cuadro 12. Datos de medidas de los cladodios antes de iniciar el experimento.

Maceta	Genotipo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor de cladodio (mm)	Peso (kg)
1	Tuna amarilla	29	16	21.69	0.645
2	Tuna blanca	39	22	25.77	1.465
3	Villanueva	31	17.5	18.57	0.720
4	Tuna roja	34	18.5	13.59	0.540
5	Tuna amarilla	29	16.5 o	15.82	0.596
6	Tuna blanca	34	21	18.57	1.135
7	Tuna roja	34	16.5	15.72	0.520
8	Villanueva	29	15.3	13.25	0.500
9	Tuna blanca	35	22	20.29	1.385
10	Tuna amarilla	30	17.5	19.37	0.810
11	Villanueva	30	15	17.51	0.525
12	Tuna roja	32	20.3	15.75	0.725
13	Tuna blanca	38	22	19.93	1.455
14	Tuna amarilla	38	18.5	17.22	0.995
15	Tuna roja	32	19	14.43	0.665
16	Villanueva	31	12.5	15.52	0.615
17	Tuna blanca	39	21.8	25.34	1.670
18	Tuna amarilla	29	17	12.86	0.595
19	Villanueva	27	15.5	16.74	0.455
20	Tuna roja	28	18.5	10.82	0.425
21	Tuna amarilla	32	18	17.59	0.745
22	Tuna blanca	38	24	20.91	1.450
23	Tuna roja	31	20	16.34	0.645
24	Tuna Villanueva	30	15.7	12.72	0.415
25	Tuna blanca	36	22	18.00	1.140
26	Tuna amarilla	31	18	17.76	0.785

27	Villanueva	30	15	13.74	0.430
28	Tuna roja	33	19	13.69	0.505
29	Tuna blanca	36	23	18.86	1.255
30	Tuna amarilla	23	16	15.96	0.440
31	Tuna Villanueva	28	13.4	15.23	0.395
32	Tuna roja	32	18	12.33	0.540

La Figura 20 muestra cómo se midieron y pesaron cada uno de los cladodios de cada cultivar para tener los datos iniciales para comenzar el experimento.



Figura 20. Medición y peso de cladodios

3.9. Agua de Riego Utilizada en el Experimento.

El agua de riego que se utilizó fue la de los pozos profundos de la Facultad de Agronomía, Unidad La Ascensión.

El agua de riego que se utilizó en el experimento tiene las siguientes características:

- pH de 8
- CE de 0.41 mS/cm

El primer riego se aplicó después de que se terminó de sembrar los cladodios. Antes de aplicar el riego, se pesó cada maceta para tener el peso en seco, después se regó hasta saturación y se dejó drenando toda la tarde y la noche de ese día en este caso fue el 24 de octubre del 2020, al día siguiente se pesó la maceta para obtener el peso húmedo la Figura 21 muestra el procedimiento antes mencionado. En el Cuadro 13 se muestran los datos de la obtención de peso de cada maceta.

Al final se obtuvo la diferencia del peso en húmedo y peso seco de cada maceta, este resultado son los litros con los que se regara cada maceta.



Figura 21. Saturación del riego y peso húmedo de macetas.

Cuadro 13. Peso seco, húmedo y diferencia de las macetas.

Peso gr-kg					
Maceta	Maceta sola	Con suelo	Maceta suelo seco	Maceta regada	(Litros)
1	0.96	14.665	16.945	23.085	6.14
2	1.075	14.895	18.175	24.16	5.985
3	1.01	14.205	17.625	23.82	6.195
4	0.975	14.205	17.515	24.005	6.49
5	1.015	14.205	17.68	24.195	6.515
6	1.025	14.205	18.11	24.26	6.15
7	0.96	14.205	17.56	23.835	6.275
8	1.025	14.205	17.51	23.74	6.23
9	0.965	14.205	18.26	24.23	5.97
10	1.05	14.205	17.905	24.035	6.13
11	1.065	14.205	17.88	24.375	6.495
12	0.96	14.205	17.71	24.095	6.385
13	1.055	14.205	18.775	24.685	5.91
14	0.925	14.205	17.845	23.34	5.495
15	0.96	14.205	17.84	23.8	5.96
16	1.05	14.205	17.78	23.78	6
17	0.87	14.205	18.84	25.3	6.46
18	0.96	14.205	17.445	23.245	5.8
19	1.085	14.205	17.745	23.53	5.785
20	0.875	14.205	17.145	23.24	6.095
21	0.87	14.205	17.815	24.405	6.59
22	0.875	14.205	18.27	24.385	6.115
23	1.08	14.205	17.685	24.265	6.58
24	1.04	14.205	17.63	24	6.37
25	0.88	14.205	17.36	23.665	6.305
26	0.88	14.205	18.18	24.25	6.07

27	1.025	14.205	17.275	23.57	6.295
28	0.965	14.205	17.585	23.62	6.035
29	1.07	14.205	18.11	24.88	6.77
30	0.9	14.205	17.485	24.055	6.57
31	0.88	14.205	17.355	23.475	6.12
32	0.985	14.205	17.435	24.16	6.725

Se hizo análisis del agua de riego con la finalidad de llevar un control de los minerales que se aportan al cultivo, para esto se recolecto 1 litro de agua que sirvió como muestra para realizar el análisis. El cuadro 14 muestra los resultados del análisis, donde se muestra que el agua del pozo que se encuentra en la Facultad de Agronomía Unidad La Ascensión tiene un pH alcalino y una conductividad eléctrica de 0.41 mS/cm, estos resultados demuestran que es muy adecuada para el riego.

Cuadro 14. Análisis del agua de riego.

Variables	Datos	Observaciones
CE mS/cm	0.41	Agua de salinidad baja
pH	8	
Ca ²⁺ (meq/l)	3	
Mg ²⁺ (meq/l)	0.7	
Na ⁺ (meq/l)	0.4	
∑ de cationes (meq/l)	4.1	
CO ₃ ²⁻ (meq/l)	0	
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	3.7	
Cl ⁻ (meq/l)	0.25	Buena
SO ₄ ²⁻ (meq/l)	0.15	
∑ de aniones en (meq/l)	4.1	
SE (meq/l)	0.4	Buena
SP (meq/l)	0.33	Buena
RAS (meq/l)	0.31	Agua naja en sodio
CSR (meq/l)	0.0	Buena
PSP	100	Condicionada
Clasificación	C ₂ S ₁	

3.10. Variables Evaluadas en las Etapas de Trabajo

3.10.1. Efecto de las temperaturas sobre los cladodios

Se hizo registro de las temperaturas que se presentaron en la Ascensión. El registro se tomó de la estación meteorológica que se encuentra en la Facultad de Agronomía Unidad La Ascensión, además de comparar las lecturas con la estación que se encuentra en dicha localidad, para saber si hay igualdad entre ellas (en el Apéndice reportan las temperaturas diarias de los meses en que se estableció el experimento Cuadro 1A al Cuadro 20A). Durante el registro de temperaturas se observó la cantidad de brotes en los cladodios madre. En cuanto a esta información podemos comentar que se determinaron las horas calor (HC) con el objeto de tener dato numérico de lo que podría pasar fisiológicamente en la planta, por lo que se aplicó dicha fórmula en la forma siguiente:

$$\text{HC} = [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2] - T_{\text{base}}$$

Donde:

T_{máx}: Temperatura máxima

T_{mín}: Temperatura mínima

T_{base}: Temperatura base (10° C)

3.10.2. Caracterización del crecimiento de los cultivares utilizados.

3.10.2.1. Largo del cladodio

Las medidas se tomaron del cladodio madre y los brotes nuevos cada 15 días a partir de la fecha de siembra para observar su crecimiento. La lectura se hizo de la parte basal hasta la parte de arriba. Se utilizó una cinta métrica su medida se expresa en cm.

3.10.2.2. Ancho del cladodio

Corresponde a las mediciones del ancho de cada uno de los cladodios madre y de los brotes, considerando la parte más ancha del cladodio y en el mismo tiempo que la variable anterior. También se midió con una cinta métrica se expresa en cm.

3.10.2.3. Grosor del cladodio (mm)

Corresponde a la medición del grosor de cada cladodio madre y nuevos brotes, se midió con un vernier, cada 15 días después de la fecha de siembra. Se utilizó un vernier digital su medida se expresó en mm.

3.10.2.4. Número de brotes

Indica la velocidad, frecuencia de brotación, estructura vegetativa y grado de desarrollo de la planta. Los datos se tomaron desde que se desarrolló el primer brote en la maceta, la brotación inició en el mes de febrero del 2021. Los brotes se observaron en la mayoría de las unidades experimentales. La cantidad de brotes total se contabilizó hasta el final de la segunda etapa de trabajo que fue en el mes de mayo del 2022.

3.10.3. Análisis químico de los tratamientos

Las propiedades físicas y químicas del suelo se determinaron en los meses de julio y agosto del 2021 para conocer los cambios que se presenten.

Las muestras de suelo se recolectaron en La Ascensión Nuevo León. Se analizaron para determinar porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley y Black, (1934); conductividad eléctrica con conductímetro; porcentaje de arcilla, arena y limo con el hidrómetro de Boyucus; concentración de N total con el método Kjeldahl; P con el método de Bray I; K con el método de Olsen Modificado; y pH con potenciómetro

3.10.4. Biomasa fresca y seca de la raíz.

Se tomó una muestra de la raíz de las unidades experimentales. La raíz se lavó. Se pesaron para tener el dato de peso fresco posteriormente se pusieron a secar. Se sacaron los cladodios de la maceta se pusieron arriba de una criba para regar la parte de la raíz para quitar todo el resto de suelo, se cortó la raíz y se pesó para tener el peso fresco, después se puso a secar. La raíz se cortó en trozos delgados y se pusieron en una estufa de secado a una temperatura de 65 °C por 4 días, al pasar los 4 días se sacaron y se volvieron a pesar para tener el peso seco.

3.11. Análisis Estadístico

En la primera etapa de trabajo los datos que se registraron se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) para determinar diferencias significativas en los cultivares y el efecto de la leonardita en los tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPS para el análisis.

En la segunda etapa de trabajo los datos registrados se sometieron a un análisis de correlación y después se hizo un análisis de varianza (ANVA) y una comparación de medias con la prueba Tuckey. Los datos se analizaron con el programa SPSS.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Primera Etapa

4.2. Efecto de las Temperaturas Sobre los Cladodios

Los resultados mostraron la adaptabilidad a las condiciones climáticas en los 4 cultivares de nopal en la Ascensión, Aramberri en el periodo de octubre 2020 a mayo 2021.

De las 32 unidades experimentales que se sembraron, solo 4 cladodios tuvieron daño durante los meses de diciembre y enero los cuales presentaron temperaturas bajas de 2°C (Cuadro 3A y Cuadro 4A). Estos cladodios son 3 de tuna roja y uno del testigo Villanueva. A pesar de presentar daño los 4 tuvieron brotes en las partes no afectadas.

El interés por el cultivo de nopal se debe a su alto porcentaje de supervivencia, resistencia a la sequía, a las altas y bajas temperaturas, adaptabilidad a suelos poco fértiles y su alta producción, lo cual se debe a su alta eficiencia al uso de agua (Melgarejo, 2000).

Trabajos realizados por González y Mendieta, (2010) así como Garay y Granera, (2009) mencionan que el cultivo de nopal puede ser cultivado en partes de zonas altas debido a que tiene gran tolerancia a temperaturas extremas.

Nobel, (1991) afirma que el cultivo de nopal se puede cultivar en zonas áridas y semiáridas o en aquellas que se pueden convertir en zonas secas.

4.3. Largo de los Cladodios Madre

Se analizaron los datos recolectados en 10 fechas, en las cuales hubo más cambios observados en cuanto al crecimiento y aparición de brotes en los cladodios madre. En la gráfica de la Figura 22 se muestra el crecimiento en cuanto al largo de los cladodios de los 4 cultivares de nopal. En el eje X se muestran las fechas de evolución con los diferentes cultivares evaluados, y en el eje de Y se tiene el largo del cladodio madre. Según García *et al.*, (2000), la nutrición edáfica no tiene efecto significativo en cuanto al largo del cladodio, ya que el largo es directamente

proporcional al área fotosintéticamente activa, compuesta por el largo y el ancho. La nutrición edáfica tampoco tiene efecto sobre este.

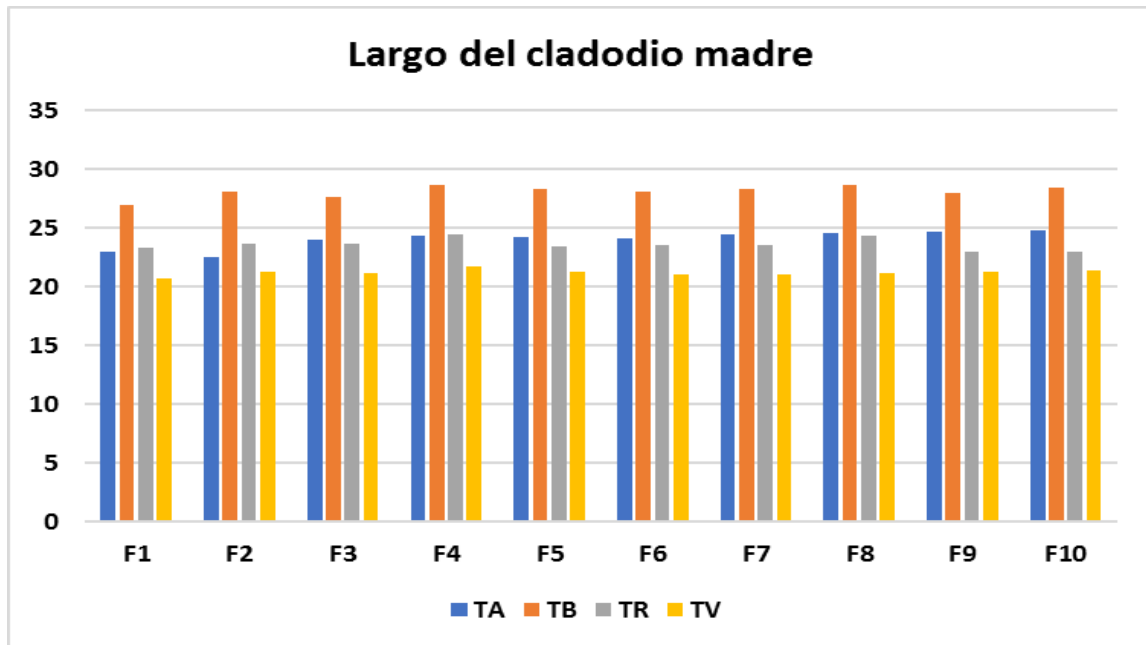


Figura 22. Crecimiento del largo del cladodio madre en diez fechas de evaluación de los cuatro cultivares de nopal.

Al final del análisis del largo del cladodio madre, de los 4 cultivares estudiados, el genotipo que tuvo diferencia significativa en mayor crecimiento fue el de Tuna Blanca.

4.4. Ancho de los Cladodios Madre

En esta variable los datos se analizaron con el mismo método que la variable anterior, los datos recolectados fueron en las mismas fechas. La gráfica de la Figura 23 muestra el incremento de esta variable en los 4 cultivares de nopal. Al igual que la variable anterior el eje X representa las fechas y el eje Y la medida del ancho del cladodio.

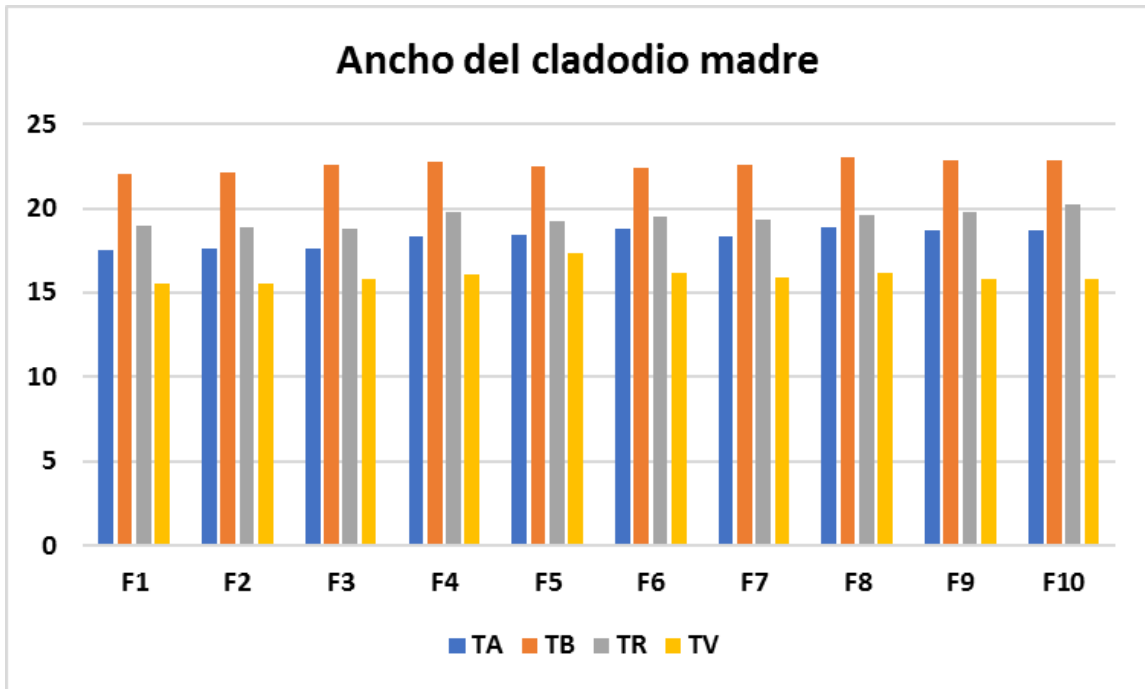


Figura 23. Incremento en el crecimiento del ancho de los cladodios madre de los cuatro cultivares de nopal.

De acuerdo con la Gráfica 23, el genotipo que tuvo más crecimiento en la variable ancho fue la de tuna blanca, es el tratamiento que ha incrementado más su tamaño mostrando que tiene mejor adaptabilidad a las condiciones climáticas del lugar. Pimienta, (1997) dice que el ancho de los cladodios es una característica propia de cada variedad, por lo que no se registran diferencias en la evaluación del ancho entre individuos de la misma variedad.

4.5. Grosor del Cladodio Madre

Esta variable esta analizada igual que las variables anteriores y con los datos recolectados en las mismas fechas donde se observó incremento de crecimiento.

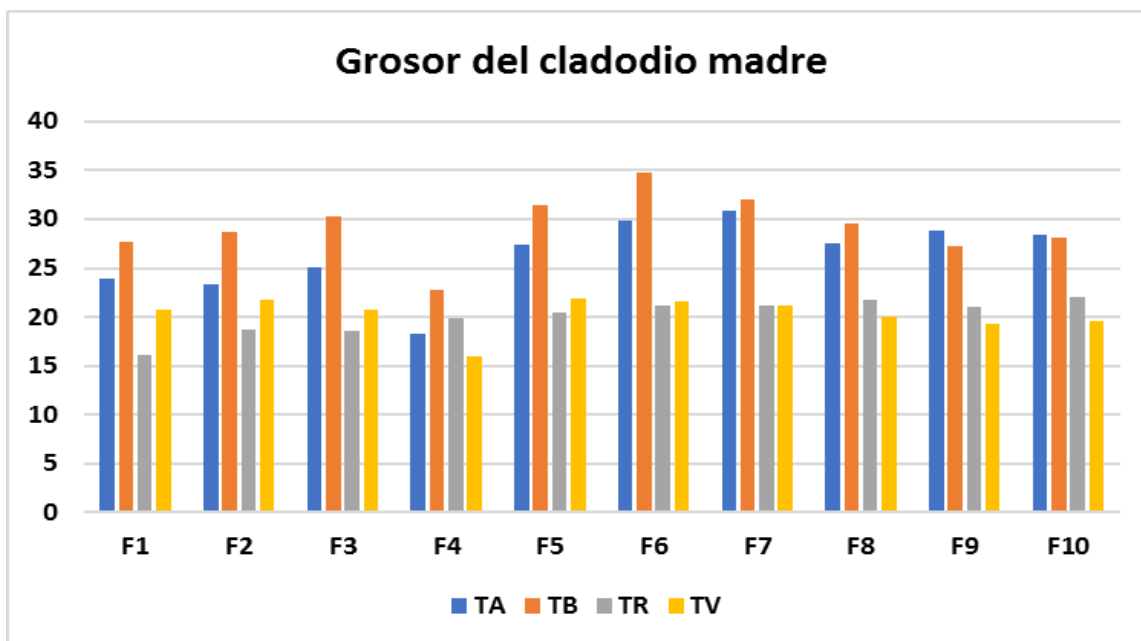


Figura 24. Crecimiento del grosor del cladodio madre de los cuatro cultivares de nopal.

En la Figura 24 la gráfica muestra que al igual que las variables anteriores el tratamiento de tuna blanca es el que ha tenido mayor crecimiento en largo, ancho y grosor en las 10 fechas que se recabaron los datos, aunque en la última fecha de la variable grosor la que tuvo más crecimiento fue el tratamiento de tuna amarilla, esto nos indica que todos los cultivares pueden cultivarse en la Ascensión, Aramberri N.L.

4.6. Número de Brotes

La aplicación de leonardita no generó diferencias significativas en cuanto al número de brotes. En las primeras etapas de crecimiento del nopal hay hojas verdaderas asociadas a las espinas, las cuales se desprenden cuando los nopalitas alcanzan su madurez comercial. El número de brotes representa la producción del cultivo y refleja la capacidad de brotación y la formación de nuevos órganos vegetativos de la planta (Fernández y Saiz, 1990).

4.7. Efecto de la Leonardita en el Largo del Cladodio

El largo del cladodio se analizó en los 4 cultivares de nopal, de acuerdo con los resultados hasta la fecha 10, los que tuvieron mejor crecimiento fueron los que tenían leonardita y el mejor fue el de tuna blanca. La Figura 25 muestra que los tratamientos que tuvieron mejor crecimiento en la variable largo de cladodio en la fecha final fueron los que tenían leonardita, por otro lado, en las primeras fechas los tratamientos que tuvieron mayor crecimiento del largo del cladodio fueron los tratamientos que no contienen leonardita.

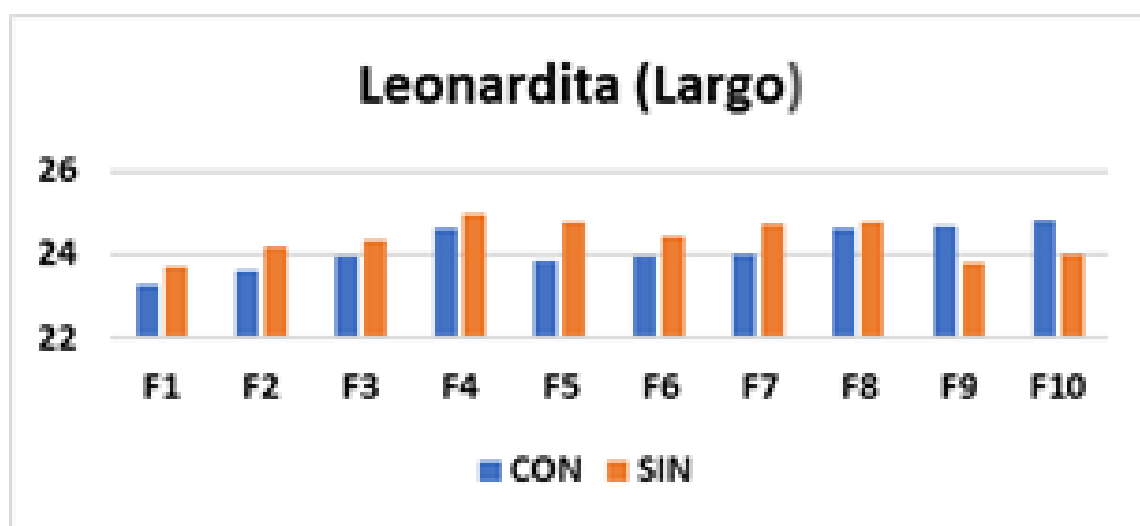


Figura 25. Efecto de la leonardita en el largo del cladodio madre.

4.8. Efecto de la Leonardita en el Ancho del Cladodio

En la Figura 26 se observa el incremento en el crecimiento de la variable ancho del cladodio, la gráfica muestra que los tratamientos que obtuvieron mayor crecimiento son los que tienen leonardita desde la primera fecha de los datos recolectados hasta la fecha final. La degradación de los nutrientes del suelo es asimilada de mejor manera por las plantas gracias a la aplicación de abonos orgánicos, esto permite que las plantas tengan un óptimo desarrollo. Los abonos orgánicos aumentan las condiciones nutritivas que tiene el suelo mejorando la condición física, incrementa la absorción de agua y mantiene la humedad (Mosquera, 2010).

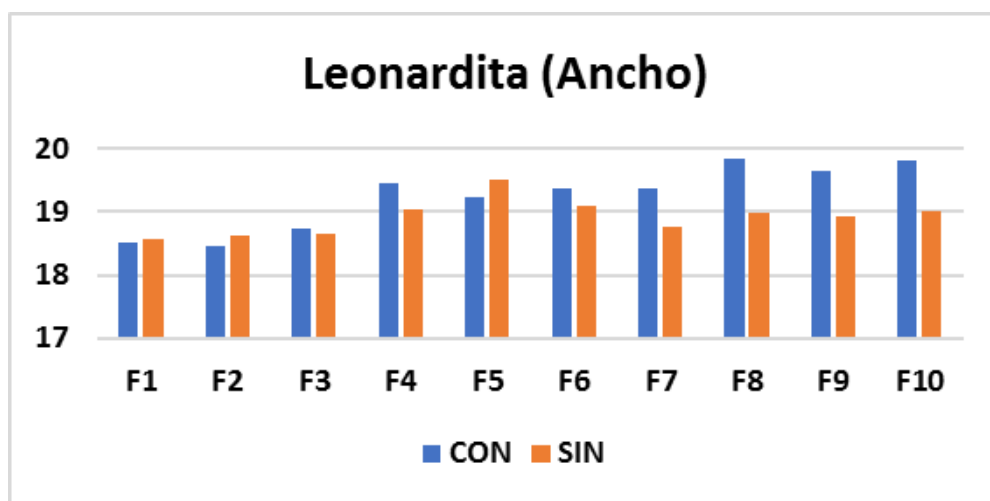


Figura 26. Efecto de la leonardita en el ancho del cladodio madre.

La leonardita contiene ácidos húmicos y fúlvicos estos contienen entre un 50 a 62% de carbono brindando beneficios en la producción de cultivos. Los ácidos húmicos generan una estimulación en el crecimiento general de las plantas dando como resultado mayores rendimientos en la producción de cultivos (Agro.com, 2000). Como se observa en la gráfica los cladodios madre que tienen leonardita fueron los que tuvieron mayor crecimiento en la variable largo, ancho y grosor lo cual coincide con Agro.com, (2000).

4.9. Efecto de la Leonardita en el Grosor del Cladodio

La Figura 27 nos muestra que los tratamientos que tienen leonardita tienen mejor crecimiento en el grosor. El nopal tiene mejor crecimiento con los abonos orgánicos, en este caso se obtuvieron buenos resultados en los tratamientos en los que se aplicó leonardita lo cual coincide con Agro.com, (2000) ya que la leonardita contiene ácidos fúlvicos los cuales estimulan el crecimiento de la planta, también mejoran la absorción y translocación de nutrientes.

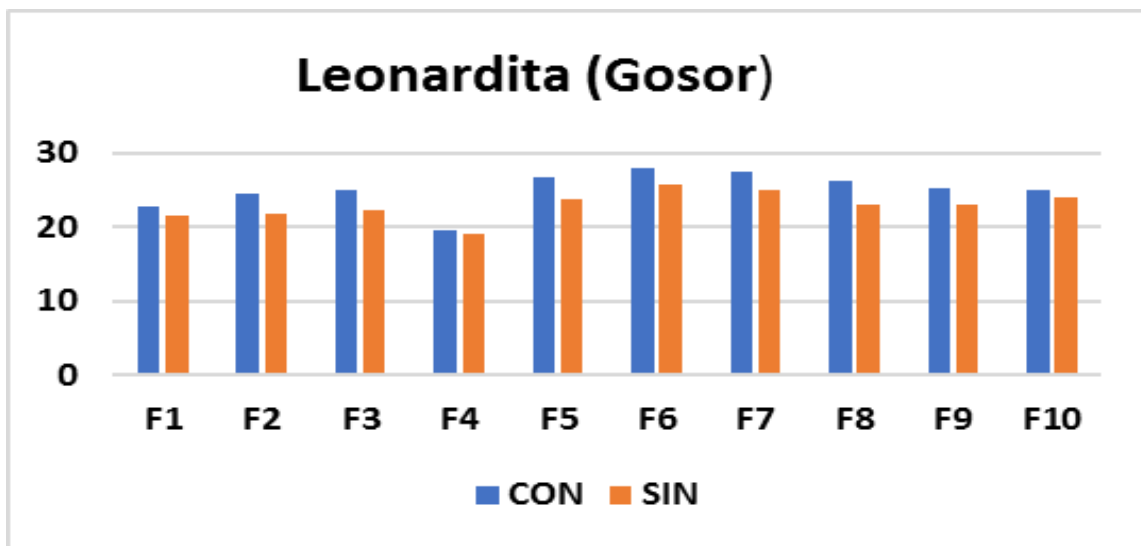


Figura 27. Efecto de la leonardita en el crecimiento del grosor del cladodio madre.

Por otro lado, la leonardita también contiene ácidos húmicos los cuales ayudan a la fertilidad del suelo y la capacidad de retención de agua esto hace que el cultivo tenga un crecimiento y una absorción de nutrientes adecuada, tal como se obtuvo en esta etapa de investigación evaluando el crecimiento del nopal utilizando la leonardita como un abono orgánico. De acuerdo con Lignoquim, (2012) la leonardita mejora la producción de cosecha, mejora la germinación de semillas, aumenta la absorción de agua, aumenta la fertilidad del suelo y el crecimiento de los cultivos.

4.10. Segunda Etapa

4.11. Efecto de las Temperaturas Sobre los Cladodios

De acuerdo con el registro de temperaturas presentes en La Ascensión durante el periodo de agosto 2020 a mayo 2022 se observó adaptabilidad en la mayoría de los tratamientos. Del total de unidades experimentales solamente 4 cladodios sufrieron daño por las bajas temperaturas de -1 y -2 °C que se prolongaron por varios días en los meses de diciembre 2020 y enero 2021, sin embargo, a pesar de los daños presentes los cladodios dañados aun siguieron produciendo brotes posteriormente. Los cultivares dañados son 3 de tuna roja y 1 del testigo Villanueva. La tolerancia al frio es una de las características deseadas en la producción de las especies *Opuntia* en las zonas altas del sur del estado (Flores y Reveles, 2010).

En el periodo de enero - mayo 2022, se mostró adaptabilidad en la mayoría de los cladodios, sin embargo, el día 7 de febrero se tuvo una nevada en la localidad, la temperatura que se registró en ese día fue 17° C como máxima y 7°C como mínima, en el transcurso del día estuvo solo nublado a las 5:00 p.m. fue cuando comenzó a caer nieve, el día 8 de febrero la temperatura máxima fue 0°C y la mínima -1. En la Figura 28 se muestran los cladodios cubiertos por la nieve. Este suceso causó que algunos de los cladodios se pusieran de color amarillo en algunas partes, sin embargo, no sufrieron grandes daños.



Figura 28. Efectos de la nevada sobre diferentes cultivares tuneros evaluados.

En el mes de marzo también se registraron heladas el día 13 de marzo se tuvo una temperatura de 12°C como máxima y -1°C mínima, esto provocó que varios de los brotes que había en los cladodios se secaran a causa de esto, no toleraron la baja temperatura debido a que estaban muy pequeños. Le Houérou, (1994) y Wang *et al.*, (1997), comentan que la tolerancia al frío se da por la diferencia de la temperatura nocturna y diurna.

A pesar de que hubo brotes que se dañaron por las bajas temperaturas que se presentaron en los días siguientes y en el mes de abril, hubo buena cantidad de brotación en los cladodios gracias a que las temperaturas fueron favorables para su crecimiento. Flores y Reveles, (2010) coinciden en que la tolerancia al frío del nopal es una característica deseada para la producción. También coinciden Nobel y De la Barrera, (2002) sosteniendo que aparecen daños en la raíz y frutos con temperaturas de -7°C y 55°C.

En la Figura 29 se presenta el número de brotes que hubo en el periodo de agosto 2020 a abril 2022, se puede observar que en los meses de febrero y marzo fueron en los que hubo mayor número de brotes, además se sabe que la brotación de los nopales comienza en los últimos días del mes de febrero, aumenta en el mes de marzo y manteniéndose así hasta el mes de julio y posteriormente decrece. Al obtener los totales de brotes sumando los obtenidos en las 2 etapas de trabajo, se encontró que en la segunda etapa hubo mayor cantidad de brotes debido a que se aplicó gallinaza y peat moss a los tratamientos.

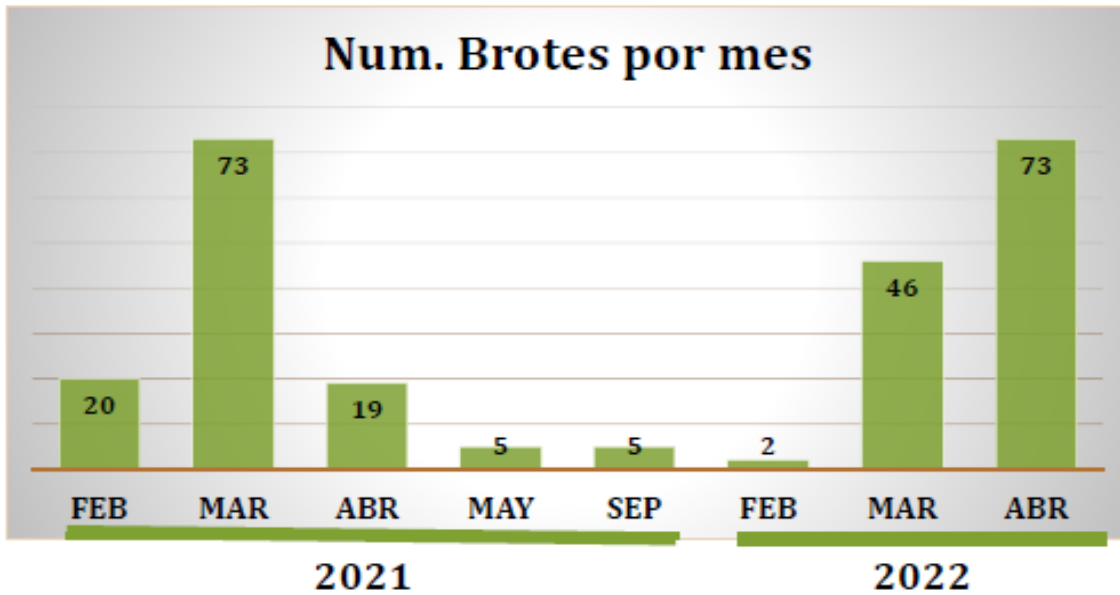


Figura 29. Número de brotes por mes en el periodo 2021 – 2022.

En la Figura 30 se presenta la cantidad de brotes obtenidos por los cultivares de tuna amarilla, tuna roja, tuna blanca y el cultivar Villanueva, el cultivar con mayor cantidad de brotes en el periodo de febrero 2021 a abril 2022, fue la del cultivar Villanueva que se utilizó como testigo porque se consideraba que no toleraba las bajas temperaturas, sin embargo, durante el periodo de evaluación fue el tratamiento que tuvo mejor brotación a pesar de las temperaturas menores de cero grados y del evento de nevada que se presentaron en el periodo de evaluación, por lo anterior, se obtuvo la conclusión de que esta variedad tiene adaptabilidad al clima del lugar.

Totales de brotación en los cladodios

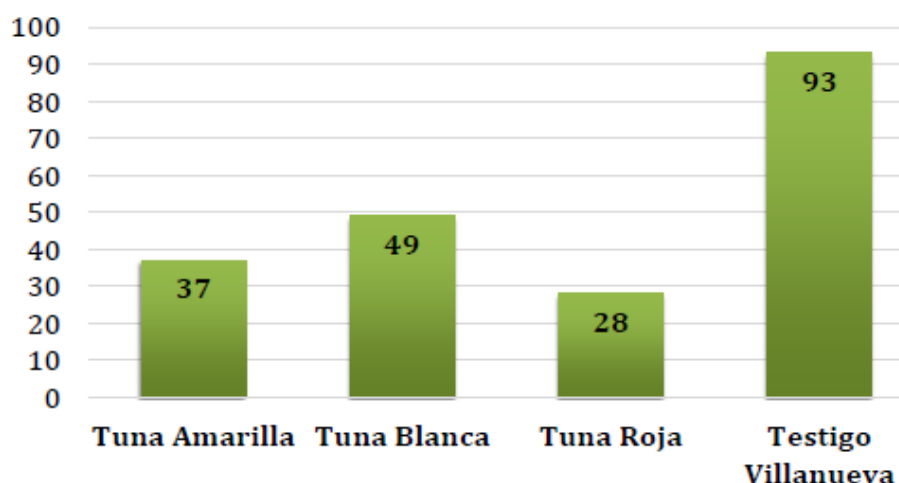


Figura 30. Total, de brotes por variedad en el periodo de tiempo febrero 2021 a abril 2022.

4.12. Variables Largo, Ancho, Grosor y Número de Brotes.

Para realizar el análisis estadístico de estas variables se utilizó el programa SPSS, se hizo un análisis de varianza y una comparación de medias por la prueba Tukey. Para el análisis primero se hizo una correlación de los datos que se tomaron en 6 fechas. Los análisis de correlación mostraron una relación positiva y significativa entre largo y el ancho ($r=0.581$; $p=0.001$), en el largo y el grosor ($r=0.470$; $p=0.007$) y una correlación negativa entre el ancho y el número de brotes ($r=0.452$; $p=0.012$) y el número de brotes y el grosor ($r=0.460$; $p=0.011$).

Los análisis de varianza para el largo, ancho, grosor y número de brotes mostraron diferencias significativas. La comparación de medias para el largo reveló que la variedad 1 (tuna amarilla) y 2 (tuna blanca) tuvieron cladodios más largos, resultados semejantes se encontraron para el ancho y el grosor.

En el número de brotes sobresalieron las variedades 2 (tuna blanca) y 3 (el testigo Villanueva), aun y cuando la variedad 3 no tuvo cladodios sobresalientes en cuanto a largo, ancho y grosor como se observa en el Cuadro 15. Barbera, (1999) reporta que los brotes de los cladodios son un producto de importancia para los

consumidores. Cantewell, (1999) menciona que los brotes que son de buena calidad muestran como principales características: la turgencia, son delgados y tienen un color verde brillante.

Cuadro 15. Largo, ancho, grosor y brotes de los cuatro cultivares.

Variedad	Largo	Ancho	Grosor	Brotes
TA	25.8 a	19.2 ab	47.4 a	1.917ab
TB	27.8 a	21.6 a	44.0 a	3.125 b
TV	20.8 b	15.9 b	29.6 b	3.875 a
TR	20.6 b	18.6 ab	29.1 b	1.417 b

Las letras diferentes indican diferencia significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

El número de brotes representa la productividad del cultivo y refleja la capacidad de brotación y la formación de nuevos órganos vegetativos de la planta lo cual coincide con Fernández y Saiz, (1990).

El análisis de varianza para las variables largo y número de brotes no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, el ancho y grosor si mostraron diferencias significativas. La comparación de medias para el ancho reveló que el tratamiento 3 fue el que tuvo mayor crecimiento, es el que tenía gallinaza y lombricomposta y de ahí le sigue el tratamiento 7 que tenía gallinaza, lombricomposta y leonardita.

Nobel, (1988) y; Hatzman *et al.*, (1991), citan que los macros y los micros nutrientes del suelo al igual que la textura ayuda en el crecimiento del nopal. En el Cuadro 16 se presentan los resultados de la comparación de medias de las variables ancho y grosor.

Cuadro 16. Comparación de medias del ancho y grosor en los tratamientos.

Tratamiento	Ancho	Grosor
1= 0	14.250 b	23.800 c
2= LO+PM	18.200 ab	27.100 c
3 =LO+G	22.750 a	43.350 ab
4= LO	19.750 ab	47.175 ab
5=L	17.625 ab	35.475 bc
6=LO+PM+L	19.000 ab	31.225 c
7=LO+G+L	20.500 ab	44.700 ab
8= LO+L	18.750 ab	47.700 a

PM= Peat Moss, LO= Lombricomposta, L= Leonardita, G=Gallinaza. Las letras diferentes indican diferencia significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

En la variable grosor se observó que los tratamientos que tuvieron mayor crecimiento fueron el 8 y 4 que tenían lombricomposta y leonardita, seguido de ahí el tratamiento 3 y 7 que tenían gallinaza, lombricomposta y leonardita.

4.13. Análisis Químico Inicial del Suelo

El análisis del suelo de los tratamientos se hizo con la finalidad de saber cuáles fueron los nutrientes aportados a los cladodios. En el Cuadro 17 se observan los resultados del análisis inicial de suelo con las diferentes combinaciones de materia orgánica que se le pusieron de acuerdo con el análisis químico que se realizó en el laboratorio se suelos ubicado en Marín N.L. Los tratamientos que tuvieron mayor cantidad de N, P, K, Ca, Zn, Mn, Fe, Cu son los que tenían combinación de lombricomposta y gallinaza, lombricomposta, gallinaza y leonardita y lombricomposta y peat moss, estas combinaciones se aplicaron a los cultivares de tuna blanca, tuna roja y tuna amarilla. Por este motivo fueron los tratamientos que tuvieron mejores niveles de fertilidad.

Cuadro 17. Propiedades químicas del suelo usados en el experimento.

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Zn (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	pH	C.E.	
											(mS/cm)	M.O. (%)
T1	2.408	0.09	0.514	11.15	0.438	0.01	0.035	1.35	0.027	8.2	0.75	13
T2- LO + PM	3.773	0.11	0.349	17.18	0.364	0.009	0.04	1.05	0.022	8.2	0.96	17
T3- LO + GA	5.026	0.31	0.465	17.02	0.461	0.012	0.039	0.98	0.03	8	6.17	15
T4- LO	3.458	0.11	0.328	17.94	0.395	0.011	0.036	1.01	0.023	8.4	0.82	16
T5- L	2.8	0.09	0.509	10.79	0.461	0.008	0.051	1.37	0.025	8.1	2.86	16
T6- LO+PM +L	3.948	0.134	0.299	17.42	0.349	0.011	0.041	0.96	0.023	8	2.04	16
T7- LO+GA+ L	4.62	0.55	0.398	18.24	0.441	0.011	0.045	0.093	0.028	8	5.51	15
T8- LO + L	3.843	0.23	0.313	17.52	0.353	0.008	0.041	0.89	0.023	8.1	2.7	13

PM= Peat moss, CV= Compost Vacuno, L= Leonardita, G=Gallinaza.

4.13.1. Análisis final del suelo

Los resultados del análisis del suelo final para los minerales N, P, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, en análisis inicial de suelo comparado con el final los nutrientes que salieron con diferencia significativa fueron el Mg, Ca, N, teniendo mayor cantidad al inicio del experimento. En el caso del P el análisis de varianza mostró diferencias significativas donde se muestra que los tratamientos que tienen gallinaza son los que tienen mayor cantidad de P. De acuerdo con el análisis de varianza se concluye que la materia orgánica que se utilizó en el experimento aumentó la cantidad de murientes haciéndola adecuados para el cultivo de nopal. En una investigación realizada por Cuervo-Osorio, (2010) menciona que los abonos orgánicos muestran mayores rendimientos en los cultivos lo cual coincide con lo realizado en esta investigación. Por otra parte, también se observa que los tratamientos que tienen mayor cantidad de nutrientes son los que tienen una mezcla de gallinaza, lombricomposta y leonardita. Pool – Novelo, (1997) reportó que es muy importante la aplicación de gallinaza en los cultivos debido a que incrementan los hongos, bacterias y actinomicetos en el suelo los cuales realizan la descomposición de materia orgánica. Para el caso de N los tratamientos que tienen mayor aporte de son los que gallinaza igual que en el caso de P, los tratamientos que tuvieron mayor aporte de K fueron los que tenían leonardita, los tratamientos que contenían leonardita, lombricomposta, gallinaza y peat moss son los que tienen mayor aporte de Ca, para el Mg y Fe los resultados mostraron semejanza en los tratamientos que tenían leonardita

teniendo mayor aporte. En el Cuadro 18 se muestran las medias de los tratamientos que se analizaron en un análisis de varianza y una comparación de medias por la prueba Tukey (≤ 0.05) en los que hubo diferencia significativa.

Cuadro 18. Concentraciones de las medias finales de los nutrientes de los tratamientos usados en el experimento.

Tratamiento	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Fe %
L	2.420 c	0.111 c	0.481 a	11.258 b	0.414 a	0.948 a
L + PM+LO	3.665 b	0.188 bc	0.298 c	16.848 a	0.334 c	0.607 b
LO+GA+L	4.230 a	0.384 a	0.348 a	16.835 a	0.381 b	0.656 b
L+LO	3.470 b	0.203 b	0.293 a	16.630 a	0.346 c	0.610 b

L= Leonardita, PM= Peat Moss, LO= Lombricomposta, GA= Gallinaza, N=Nitrógeno, P= Fosforo, K= Potasio, Ca= Calcio, Mg= Magnesio, Fe= Fierro.

En el Cuadro 19 se presentan las medias de los nutrientes de los tratamientos analizados antes y después del experimento y los valores del pH y MO, los cuales también mostraron diferencias significativas dando como resultados que al inicio del experimento los tratamientos tuvieron mayores nutrientes de N, K, Mg, Zn, Mn, y Cu. De acuerdo con los análisis como se mencionó anteriormente los tratamientos que tienen gallinaza son los que aportan mayor cantidad de nitrógeno debido a que este abono orgánico tiene mayor aporte nutrimental en comparación con otros abonos esto coincide con Sanmartín, (1992) quien dice que la gallinaza es un abono muy eficiente y una excelente fuente aportando nitrógeno a los cultivos.

Cuadro 19. Concentraciones medias de N, P, K, Mg, Zn, Mn, Fe, Cu al inicio y final del experimento y valores de pH.

Tiempo	N	P	K	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	pH
	%	%	%	%	%	%	%	%	
Antes	3.735	0.203	0.397	0.408	3.735	0.397	0.203	15.908	8.125
	a	b	a	a	a	b	a	a	a
Después	3.346	0.269	0.337	0.357	0.007	0.874	0.044	0.01	8.00
	b	a	b	b	b	a	b	b	b

N=Nitrógeno, P= Fosforo, K= Potasio, Mg= Magnesio, Zn= Zinc, Fe= Fierro, Mn= Manganeseo, Cu= Cobre.

4.14. Análisis Químico de la Planta

Se realizó un análisis químico de los brotes de los cladodios madre del experimento, para llevarlo a cabo se colectó de cada una de las unidades experimentales un nopalito, después se picó en cuadro delgados para ponerlos a secar en una estufa, cada muestra se colocó en una bolsa de papel a la cual se le hicieron orificios, se pusieron en la estufa a una temperatura de 65° C por cuatro días, posteriormente se molieron para analizarlas en el laboratorio, utilizando estas muestras para sacar el cálculo del %MO por el procedimiento de cenizas en mufla, este procedimiento consistió en pesar 0.5 g de la muestra, pesarla y ponerla en una mufla a una temperatura de 550 °C durante 4 horas, al sacarla se volvió a pesar para sacar la diferencia de los pesos y así determinar el %MO.

De acuerdo con el Cuadro 20, los resultados de las concentraciones de minerales en los cultivares fue variado, el cultivar Tuna Blanca fue el que obtuvo mayor concentración en los nutrientes P y MO (muestras previamente secadas y tamizadas para sus análisis). El cultivar que se utilizó como testigo (Villanueva) fue el que tuvo menores concentraciones en N y P. El de Tuna Roja tuvo menor concentración en los nutrientes y por último el de Tuna Amarilla tuvo menor concentración en P.

Cuadro 20. Concentraciones de N, P, y MO en los cultivares usados en el experimento.

Cultivar	N %	P %	MO %
TV	0.563 b	0.099 b	81.250 a
TR	0.880 a	0.193 ab	79.167 a
TB	0.615 ab	0.207 a	80.875 a
TA	0.716 ab	0.175 ab	76.333 a

TV= Testigo Villanueva, TR= Tuna Roja, TB=Tuna Blanca, TA= Tuna Amarilla, N= Nitrógeno, P= Fosforo, K= Potasio, MO= Materia Orgánica (con mufla).

Las concentraciones mayores de los nopalitos son de los cladodios madre que tenían gallinaza, peat moss, lombricomposta y leonardita. López, (1988) afirma que la composición nutrimental varía durante el crecimiento y desarrollo en órganos y tejidos de la planta mostrando un patrón característico para cada elemento. Esto coincide con la edad de la planta entre más tierno sea el brote tendrá mayor contenido de nutrientes en comparación con un cladodio maduro.

4.15. Biomasa Fresca y Seca de la Raíz

Los datos que se tomaron en cuenta para realizar el análisis de la raíz fueron el peso del cladodio con raíz, el largo de la raíz, peso fresco y peso seco de la raíz, con estos datos se hizo un análisis de varianza donde se mostraron diferencias significativas en las unidades de medida, después se hizo una comparación de medias por la prueba Tukey (≤ 0.05) como se muestra en el Cuadro 21. De acuerdo con los resultados obtenidos los cladodios que tuvieron mayor biomasa fresca de raíz fueron los de Tuna Blanca, los cuales tenían gallinaza, leonardita y lombricomposta siendo los tratamientos 3 y 7 y Tuna Amarilla que contenían peat moss, lombricomposta y leonardita. Los cultivares de Tuna Roja y Testigo Villanueva fueron los que tuvieron menor biomasa fresca de raíz. Los resultados fueron similares para la biomasa seca de raíz en estos tratamientos. En la Figura 31 se muestran los cultivares antes de quitar la raíz de los cladodios.



Figura 31. Efecto visual de los tratamientos en la raíz de los cultivares (a)Tuna Roja, (b)Testigo Villanueva, (c) Tuna Blanca y (d) Tuna Amarilla.

Cuadro 21. Comparación de medias de los datos obtenidos de la raíz del cladodio madre.

Cultivares	PCR (g)	LR. (cm)	PFR (g)	PSR. (g)
TV	2.333 b	45.750 a	0.051 b	0.019 c
TR	1.882 b	51.458 a	0.065 b	0.013 c
TB	3.916 a	56.292 a	0.155 a	0.065 a
TA	2.767 ab	53.063 a	0.106 ab	0.035 b

TV= Testigo Villanueva, TR= Tuna Roja, TB= Tuna Blanca, TA= Tuna Amarilla, PCR= Peso Cladodio y Raíz, LR= Largo de Raíz, PFR= Peso Fresco de Raíz, PSR= Peso Seco de Raíz.

Los resultados muestran que los tratamientos con sus respectivas combinaciones de materia orgánica fueron de gran beneficio para la raíz de los cladodios, como se mencionó anteriormente los tratamientos que tuvieron mayor biomasa fresca y seca en la raíz son los que tienen gallinaza, lombricomposta, leonardita y peat moss lo cual coincide con Mosquera, (2010) quien dice que el suelo se calienta con la aplicación de abonos orgánicos favoreciendo así el desarrollo de las raíces en los cultivos.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la investigación se puede concluir lo siguiente:

Con respecto a la caracterización de los cultivares tuna roja, tuna amarilla y tuna blanca se comportaron tolerantes a bajas temperaturas, menores a 0° C, así como eventos de nevadas que se presentaron, cubriendo completamente los cultivares evaluados, lo que comprobó su adaptabilidad al ambiente fresco de la región, debido a que hubo una producción adecuada de nopalito. El cultivar de tuna blanca se comportó como doble propósito por producir buena tuna y nopalito, siendo una característica deseable para los pobladores de la región. En el caso del contenido de nutrientes en los cultivares, el de tuna roja presenta mayor contenido de N y el de tuna blanca mayor contenido de P.

La producción del nopalito es mejor en los meses de marzo a mayo en estos materiales la cual oscila a temperaturas promedio de 23°C, y en el caso del cultivar Villanueva, presenta una alta producción de nopalito, pero se presentó sensible en los meses de diciembre a febrero lo cual se puede comprobar de acuerdo a las horas calor registradas en esas fechas.

Con respecto al rendimiento de nopalito, los sustratos de peat moss, gallinaza y lombricomposta, mejoran la producción de nopalito, así como el ancho y grosor del mismo, lo que indica que son buenos sustratos para el desarrollo vegetativo, mientras que la leonardita cuando se usa en forma individual es menos eficiente para estimular el crecimiento vegetativo, la cual requiere, estar combinada con algún sustrato orgánico, quizá este comportamiento se debió a su bajo contenido de materia orgánica aunque esta es rica en ácidos fúlvicos y húmicos.

6. BIBLIOGRAFIA

- Agro.com. (2000). Ácidos fúlvicos, (en línea). Disponible en: www.2000agro.com/7acisos. Revisado el 17 de julio del 2012.
- Álvarez, B. (2007). Análisis de factibilidad del cultivo de la tuna en la localidad de Icaño, Departamento la paz. dirección provincial de programación del desarrollo. Ministerio de producción y desarrollo. Gobierno de la provincia de Cata marca. Argentina.
- Apoys y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). (1999). Producción mundial de tuna. Claridades Agropecuarias (México) Núm. 71:31-34.
- Aquino, E., Chavarría, J., Chávez, J., Guzmán, R., Silva, E., Verdalet I. (2012). Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia spp*) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascaliente.; 55(1): p 3-10.
- Barbera, G. (1999). Agroecología, cultivos y usos del nopal. FAO Roma, IT. 219 p.
- Blanco, M. Orue, R. y Rojas, E. (2008). Ficha técnica del nopal en Nicaragua (*Opuntia ficus -indica L. Miller*). Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua.NI. 2 p.
- Blanco, M; Landero, F; Cruz, E. (2005). Adaptación del nopal (*Opuntia ficus- indica L Miller*) en la zona seca de Diriamba, Carazo, Para la reproducción de cladodios verdura. LII Reunión anual PCCMCA. Ciudad de Panamá, PN. 30 p.
- Bravo-Hollis, H. (1978). Las Cactaceas de México. Vol 1 UNAM, México, pp. 235– 51.
- Chávez F., I. (1994). Comercialización de la tuna alfajayucan (*Opuntia amyclae T.*) en el municipio de san Martín de las pirámides, estado de México. Tesis Profesional. Departamento de economía agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 143 p.
- CONAGUA (2019). Estaciones meteorológicas. [Http://www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx), consulta realizada el 26 octubre 2020.
- Corrales G. y Flores V. (2000). Tendencias actuales y futuras en el procesamiento de nopal y la tuna. Reporte de investigación 49, CIESTAAM.
- Cuervo-Osorio V. D. (2010). Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado de Edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. México.
- De la Rosa, H. J. P. y Santamaría, A.D. (1998). El nopal: usos, manejo agronómico y costos de producción en México. CONAZA-UACH-CIESTAAM. México.
- Flores, M. A. y Reveles, M. (2010). Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. Rev. Salud Pub. Nutr. 5:198-210.

- Garay, R; Granera, F. (2009). Efecto de la aplicación de diferentes dosis de vermicompost en el cultivo del nopal (*Opuntia ficus-indica* L), en la UNA, Managua. Tesis Ing. Agr. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria. 27 p
- García, V; Teresa, V y Espinosa, M. (2000). Efecto de bioabono sobre el área fotosintéticamente activa, producción de cladodios y eficiencia de recuperación de Nen en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) en el primer año post-plantación. Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, CL. 96 p
- González, J; Mendieta, E. (2010). Efecto de diferentes dosis de compost en época seca sobre el rendimiento, crecimiento y rentabilidad del nopal (*Opuntia ficus-indica* L), Diriamba, Carazo, Tesis Ing. Agr. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria. 27 p.
- González, V. (1998). La agricultura orgánica: Los abonos orgánicos. ICOAMA-CIEETS. 22 p.
- Guevara, J. C., Felker, P., Balzarini, M. G., Páez, S. A., Paez, M. N., Antúnez, J. C. (2011). Productivity, cold hardiness and forage quality of spineless progeny of the *Opuntia ficus-indica* 1281 x *O. lindheimerii* 1250 cross in Mendoza plain, Argentina. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 13: 48-62
- Guevara, J. C., Silva Colomer, J. H., Juárez, M. C., Estevez, O. R. (2003). *Opuntia ellisiana*: cold hardiness, above-ground biomass production and nutritional quality in the Mendoza plain, Argentina. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 5: 55-64.
- Gurbaechan, S. (2003). General Review of Opuntias in india. Indian Council of Agricultural Research. J. Professional Ass. Cactus Devel. 5: 30-46.
- Hatzman, S., Ebert, G., Lüdders, P. (1991). Influence of NaCl salinity on growth, ion uptake, and gas exchange of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Ange wandteBot.*, 65: 161-168.
- Kononova, M. (1982). *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*, Barcelona: Oikos-Tau. 365 p.
- Kononova, M.M. (1983). *Soil Organic Mater.* Pergamon Press. London. 450 p.
- Landero, F. y Cruz, E. (2005). Adaptación del nopal (*Opuntia ficus-indica* L) en la zona de Diriamba, Carazo, para la producción de nopal verdura. Diriamba Nicaragua. Tesis UNA, Ing. Agr. Managua, NI. 17 p.
- Lao, C., Z. Zeledon, X. Gamisans y M. Sole (2005). Sorption of Cd (II) and Pb (II) from aqueous solutions by a low-rank coal (leonardite). *Separation and Purification Technology* 45: 79-85.
- Leonardo Manrique y Jimena Manrique (1988). *Flora y fauna mexicana, Panorama actual*, Editorial Everest mexicana, México, pp. 200-202
- Lignoquim. (2012). *Vademécum. Nutrir es vida*. Guayaquil – EC. p. 7.

- López C., R., A. Gallegos T., E. Pena C., A. Reyes L., R. Castro F., J.F.J. Chávez G. (2006). Substancias húmicas de origen diverso en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcillo-limoso. *Terra Latinoamericana* 24: 303-309.
- López, M., J. L. (1988). Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunera (*Opuntia amyclaea Tenore*). Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 68.
- Madejón E., López R., Murillo J.M., Cabrera F., (2001). Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). *Agriculture, ecosystems & environment*, 84(1), 55-65.
- Martínez-Cerdas, C. (1997). Potencial de la lombricultura en pequeños sistemas de producción agrícola integral. Memoria de la Primera Exposición Nacional. pp 122-123.
- Melgarejo, P. (2000). Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. 1ra ed. Mundi-prensa. Madrid, ES. p. 297-360.
- Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos: manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. Figueroa, A. (FONAG), EC. p. 4.
- Murillo-Amador B., A. Flores-Hernández, J. L., García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, N. V. Ávila-Serrano, E. Troyo-Diéguez and F. H. Ruiz-Espinoza (2005) Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable (nopalitos). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 7:97-109
- Nobel, P. (1999). Ecofisiología de *Opuntia ficus-indica*. In: El nopal (*Opuntia spp.*) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169, México.
- Nobel, P. S. (1994). Remarkable Agaves and Cacti. Oxford University Press. New York. Pp.166.
- Nobel, PS. 1991. Environmental productivity indices and productivity for *Opuntia ficus-indica* under current and elevated atmosphere CO₂ levels. *Plant and cell environmental*. p. 637-646
- Nobel, S. P. (1988). Los incomparables agaves y cactus, MX. p. 123-125.
- Pérez-Herrera J. A. (2002). Cinética de la lombriz de tierra *Eisenia foetida* (s), en la generación de humus y su aplicación en la producción de nopal verdura, en el municipio de Marín, N.L. Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas. Fac. Agronomía UANL. 130 p.
- Pimienta B.E. (1993). El nopal *Opuntia ssp.* Alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas. *Revista de la academia científica*. Vol.44. N°3.
- Pimienta, BE. (1997). El nopal en México y el mundo. In. *Cactácea suculentos mexicanos*. CVS publicaciones, MX. p. 22.

- Pimienta-Barrios E. (1990) El Nopal Tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. 235 p.
- Pool-Novelo L. (1997). Mejoramiento de la fertilidad del suelo en la agricultura sostenible de las laderas de Los Altos de Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad de Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. México
- Ramírez, M. e. (2014). *HELADAS*. Ciudad de México: CENAPRED.
- Ríos, J. y V. Quintana. (2004). Manejo general del cultivo del nopal. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, México.
- Rosero Quiroz., Sandra Elisabeth., Mena Pozo y Gabriela Alexandra. (2011). Tesis UTN “Obtención de pulpa de tuna a partir de dos variedades con incorporación de su cáscara y posterior aprovechamiento de sus residuos” pág. 8-9.
- SAGAR. (2007). Anuarios estadísticos de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos.
- Schwarzenbach, R.P., P.M. Gschwend and D.M. Imboden (1993). *Environmental Organic Chemistry*. John Wiley & Sons Inc.
- Shields, E. B. (1977). Rasing earthworms for profit. Oregon State University Extension service. pp 1- 8.
- Stephen R.S., (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35, 142–156.
- Stevenson, F.J. and E.T. Elliott. (1989). Methodologies for assessing the quality and quantity of soil organic matter. p. 173-199. In D.C. Coleman et al., (ed.) *Tropical soil organic matter*. Univ. of Hawaii Press, Honolulu.
- Sudzuki, F.; Muñoz, C. y Berger, H. (1993). El cultivo de la tuna (Cactus pear). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile. 40-42
- Sudzuki, F. (1999). Anatomía y morfología. pp. 29-36. In: Barbera, G., Inglese, P. y E., eds. *Agroecológica, cultivo y usos del nopal*. Estudio FAO producción y protección vegetal, 132. Roma
- Sugier, D., B. Kołodziej y Bielińska E. (2013). The effect of leonardite application on *Arnica montana* L. yielding and chosen chemical properties and enzymatic activity of the soil. *Journal of Geochemical Exploration* 129 (2013): 76-81.
- Vela Lomas., Danilo Tito., Ponce Guevara y Ana Jazmín. (2010). Tesis UTN “Manejo por cosechas de dos variedades de tuna producida en el Valle del Chota” pág. 44-45-46.
- Zeledón R, Calvo M, Montenegro L, Seixas E, Arévalo C (2005) A survey on *Triatoma dimidiata* in an urbana area of the province of Heredia, Costa Rica. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 100: 607-612.

Zeledon, Z., C. Lao., F.X.C. de las Heras y M. Sole (2007). Removal of PAHs from water using an immature coal (leonardite). *Chemosphere* 67: 505-512.

7. APÉNDICES DE BASES DE DATOS

Cuadro 1A. Temperaturas del mes de octubre 2020.

Mes: Octubre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	12	0	6	-4
2	22	1	11.5	1.5
3	20	2	11	1
4	25	3	14	4
5	20	0	10	0
6	22	1	11.5	1.5
7	23	4	13.5	3.5
8	27	3	15	5
9	25	2	13.5	3.5
10	26	2	14	4
11	28	2	15	5
12	29	2	15.5	5.5
13	22	5	13.5	3.5
14	25	9	17	7
15	23	8	15.5	5.5
16	26	7	16.5	6.5
17	20	1	10.5	0.5
18	25	2	13.5	3.5
19	24	5	14.5	4.5
20	25	6	15.5	5.5
21	26	9	17.5	7.5
22	24	7	15.5	5.5
23	26	5	15.5	5.5
24	24	6	15	5
25	26	6	16	6
26	29	6	17.5	7.5
27	30	5	17.5	7.5
28	21	3	12	2
29	27	3	15	5
30	27	2	14.5	4.5
31	26	1	13.5	3.5

Cuadro 2A. Temperaturas del mes de noviembre 2020.

Mes: Noviembre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	28	12	20	10
2	26	15	20.5	10.5
3	27	12	19.5	9.5
4	30	11	20.5	10.5
5	29	13	21	11
6	29	15	22	12
7	30	14	22	12
8	31	15	23	13
9	31	16	23.5	13.5
10	32	17	24.5	14.5
11	30	20	25	15
12	31	20	25.5	15.5
13	32	18	25	15
14	33	18	25.5	15.5
15	30	18	24	14
16	24	18	21	11
17	27	18	22.5	12.5
18	27	16	21.5	11.5
19	28	14	21	11
20	29	13	21	11
21	26	18	22	12
22	27	18	22.5	12.5
23	28	17	22.5	12.5
24	32	15	23.5	13.5
25	30	16	23	13
26	32	16	24	14
27	32	18	25	15
28	31	20	25.5	15.5
29	22	16	19	9
30	18	11	14.5	4.5

Cuadro 3A. Temperaturas del mes de diciembre 2020.

Mes: Diciembre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	22	7	14.5	4.5
2	27	10	18.5	8.5
3	17	10	13.5	3.5
4	13	8	10.5	0.5
5	18	8	13	3
6	18	11	14.5	4.5
7	24	8	16	6
8	24	7	15.5	5.5
9	27	8	17.5	7.5
10	28	10	19	9
11	31	11	21	11
12	30	16	23	13
13	30	17	23.5	13.5
14	20	11	15.5	5.5
15	27	6	16.5	6.5
16	21	11	16	6
17	21	7	14	4
18	27	10	18.5	8.5
19	29	13	21	11
20	26	13	19.5	9.5
21	26	11	18.5	8.5
22	27	15	21	11
23	31	14	22.5	12.5
24	20	8	14	4
25	21	3	12	2
26	23	5	14	4
27	27	8	17.5	7.5
28	28	11	19.5	9.5
29	28	16	22	12
30	29	16	22.5	12.5
31	23	12	17.5	7.5

Cuadro 4A. Temperaturas del mes de enero 2021.

Mes: Enero	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	15	2	8.5	-1.5
2	10	-1	4.5	-5.5
3	19	-1	9	-1
4	18	4	11	1
5	17	6	11.5	1.5
6	20	3	11.5	1.5
7	17	3	10	0
8	18	1	9.5	-0.5
9	11	2	6.5	-3.5
10	12	3	7.5	-2.5
11	8	5	6.5	-3.5
12	15	4	9.5	-0.5
13	11	-1	5	-5
14	15	-1	7	-3
15	15	-3	6	-4
16	15	-5	5	-5
17	15	5	10	0
18	17	1	9	-1
19	16	1	8.5	-1.5
20	18	8	13	3
21	14	7	10.5	0.5
22	17	8	12.5	2.5
23	20	6	13	3
24	16	7	11.5	1.5
25	26	7	16.5	6.5
26	20	11	15.5	5.5
27	20	3	11.5	1.5
28	16	0	8	-2
29	14	2	8	-2
30	18	7	12.5	2.5
31	20	4	12	2

Cuadro 5A. Temperaturas del mes de febrero del 2021.

Fecha Mes: Febrero	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	14	3	8.5	-1.5
2	14	2	8	-2
3	18	3	10.5	0.5
4	21	4	12.5	2.5
5	15	5	10	0
6	21	5	13	3
7	14	7	10.5	0.5
8	21	2	11.5	1.5
9	21	2	11.5	1.5
10	21	2	11.5	1.5
11	12	8	10	0
12	14	5	9.5	-0.5
13	14	2	8	-2
14	12	5	8.5	-1.5
15	11	-3	4	-6
16	18	-3	7.5	-2.5
17	20	1	10.5	0.5
18	28	-5	11.5	1.5
19	14	-3	5.5	-4.5
20	20	-2	9	-1
21	21	6	13.5	3.5
22	14	6	10	0
23	21	7	14	4
24	24	2	13	3
25	24	3	13.5	3.5
26	24	10	17	7
27	24	10	17	7
28	24	9	16.5	6.5
29				
30				

Cuadro 6A. Temperaturas del mes de marzo 2021.

Mes: Marzo	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	24	9	16.5	6.5
2	21	8	14.5	4.5
3	17	6	11.5	1.5
4	14	2	8	-2
5	24	6	15	5
6	17	9	13	3
7	20	8	14	4
8	25	8	16.5	6.5
9	19	11	15	5
10	19	10	14.5	4.5
11	24	10	17	7
12	18	12	15	5
13	29	12	20.5	10.5
14	19	2	10.5	0.5
15	21	4	12.5	2.5
16	21	7	14	4
17	29	12	20.5	10.5
18	27	5	16	6
19	26	4	15	5
20	25	5	15	5
21	22	6	14	4
22	21	7	14	4
23	23	9	16	6
24	21	13	17	7
25	25	13	19	9
26	21	6	13.5	3.5
27	17	4	10.5	0.5
28	17	7	12	2
29	22	8	15	5
30	24	10	17	7
31	12	7	9.5	-0.5

Cuadro 7A. Temperaturas del mes de abril 2021.

Mes: Abril	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	16	8	12	2
2	13	8	10.5	0.5
3	13	8	10.5	0.5
4	11	7	9	-1
5	12	6	9	-1
6	13	7	10	0
7	12	7	9.5	-0.5
8	14	6	10	0
9	15	8	11.5	1.5
10	19	8	13.5	3.5
11	19	7	13	3
12	18	8	13	3
13	19	15	17	7
14	20	14	17	7
15	24	15	19.5	9.5
16	32	14	23	13
17	32	13	22.5	12.5
18	32	13	22.5	12.5
19	32	14	23	13
20	32	13	22.5	12.5
21	30	14	22	12
22	32	14	23	13
23	32	11	21.5	11.5
24	30	13	21.5	11.5
25	33	12	22.5	12.5
26	32	14	23	13
27	32	13	22.5	12.5
28	32	14	23	13
29	32	14	23	13
30	32	13	22.5	12.5

Cuadro 8A. Temperaturas del mes de mayo 2021.

Fecha Mes: Mayo	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	24	15	19.5	9.5
2	26	15	20.5	10.5
3	27	15	21	11
4	28	14	21	11
5	28	14	21	11
6	29	11	20	10
7	28	14	21	11
8	29	14	21.5	11.5
9	20	14	17	7
10	29	13	21	11
11	30	12	21	11
12	21	11	16	6
13	30	12	21	11
14	28	11	19.5	9.5
15	27	10	18.5	8.5
16	25	11	18	8
17	26	12	19	9
18	23	12	17.5	7.5
19	25	14	19.5	9.5
20	27	10	18.5	8.5
21	25	14	19.5	9.5
22	30	10	20	10
23	28	13	20.5	10.5
24	28	14	21	11
25	29	12	20.5	10.5
26	28	13	20.5	10.5
27	28	14	21	11
28	27	13	20	10
29	29	12	20.5	10.5
30	28	13	20.5	10.5
31	28	12	20	10

Cuadro 9A. Temperaturas del mes de junio 2021.

Mes: Junio	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	30	10	20	10
2	24	14	19	9
3	23	13	18	8
4	21	14	17.5	7.5
5	20	5	12.5	2.5
6	21	7	14	4
7	27	12	19.5	9.5
8	21	10	15.5	5.5
9	30	10	20	10
10	30	10	20	10
11	29	9	19	9
12	27	9	18	8
13	26	13	19.5	9.5
14	22	12	17	7
15	25	12	18.5	8.5
16	25	10	17.5	7.5
17	29	10	19.5	9.5
18	30	14	22	12
19	28	13	20.5	10.5
20	25	14	19.5	9.5
21	30	15	22.5	12.5
22	29	14	21.5	11.5
23	26	15	20.5	10.5
24	25	14	19.5	9.5
25	24	15	19.5	9.5
26	27	14	20.5	10.5
27	27	14	20.5	10.5
28	25	11	18	8
29	24	12	18	8
30	26	13	19.5	9.5

Cuadro 10. Temperaturas del mes de julio 2021.

Mes: Julio	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	24	12	18	8
2	24	13	18.5	8.5
3	25	12	18.5	8.5
4	25	12	18.5	8.5
5	25	15	20	10
6	24	15	19.5	9.5
7	24	16	20	10
8	22	16	19	9
9	22	16	19	9
10	23	17	20	10
11	22	15	18.5	8.5
12	20	12	16	6
13	22	14	18	8
14	23	11	17	7
15	23	13	18	8
16	25	11	18	8
17	25	14	19.5	9.5
18	29	13	21	11
19	24	11	17.5	7.5
20	27	10	18.5	8.5
21	23	15	19	9
22	22	13	17.5	7.5
23	22	11	16.5	6.5
24	25	11	18	8
25	25	13	19	9
26	22	11	16.5	6.5
27	25	10	17.5	7.5
28	24	9	16.5	6.5
29	24	9	16.5	6.5
30	21	13	17	7
31	25	13	19	9

Cuadro 11A. Temperaturas del mes de agosto 2021.

Mes: Agosto	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	25	12	18.5	8.5
2	20	12	16	6
3	28	12	20	10
4	27	13	20	10
5	26	13	19.5	9.5
6	26	12	19	9
7	29	15	22	12
8	26	12	19	9
9	26	14	20	10
10	21	13	17	7
11	27	13	20	10
12	27	12	19.5	9.5
13	27	11	19	9
14	27	10	18.5	8.5
15	27	11	19	9
16	26	12	19	9
17	26	14	20	10
18	28	13	20.5	10.5
19	28	15	21.5	11.5
20	28	10	19	9
21	24	14	19	9
22	16	9	12.5	2.5
23	22	10	16	6
24	24	8	16	6
25	24	12	18	8
26	24	11	17.5	7.5
27	25	10	17.5	7.5
28	25	10	17.5	7.5
29	24	9	16.5	6.5
30	24	8	16	6
31	25	10	17.5	7.5

Cuadro 12A. Temperaturas del mes de septiembre 2021.

Mes: Septiembre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	25	13	19	9
2	26	15	20.5	10.5
3	24	14	19	9
4	23	9	16	6
5	25	12	18.5	8.5
6	24	14	19	9
7	20	11	15.5	5.5
8	22	11	16.5	6.5
9	19	11	15	5
10	26	14	20	10
11	24	12	18	8
12	23	11	17	7
13	24	12	18	8
14	25	13	19	9
15	22	14	18	8
16	23	13	18	8
17	24	14	19	9
18	25	12	18.5	8.5
19	22	11	16.5	6.5
20	25	12	18.5	8.5
21	23	8	15.5	5.5
22	25	10	17.5	7.5
23	26	5	15.5	5.5
24	21	5	13	3
25	25	8	16.5	6.5
26	23	7	15	5
27	21	8	14.5	4.5
28	23	8	15.5	5.5
29	26	5	15.5	5.5
30	16	2	9	-1

Cuadro 13A. Temperaturas del mes octubre 2021.

Mes: Octubre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	21	14	17.5	7.5
2	25	13	19	9
3	22	14	18	8
4	22	13	17.5	7.5
5	22	13	17.5	7.5
6	22	13	17.5	7.5
7	23	7	15	5
8	23	4	13.5	3.5
9	23	6	14.5	4.5
10	22	11	16.5	6.5
11	30	13	21.5	11.5
12	23	12	17.5	7.5
13	23	11	17	7
14	29	13	21	11
15	29	11	20	10
16	25	11	18	8
17	18	8	13	3
18	18	7	12.5	2.5
19	26	8	17	7
20	26	10	18	8
21	29	9	19	9
22	24	12	18	8
23	22	9	15.5	5.5
24	23	10	16.5	6.5
25	27	10	18.5	8.5
26	25	10	17.5	7.5
27	25	11	18	8
28	25	5	15	5
29	26	0	13	3
30	25	1	13	3
31	23	5	14	4

Cuadro 14A. Temperaturas del mes de noviembre 2021.

Mes: Noviembre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	25	3	14	4
2	25	3	14	4
3	25	2	13.5	3.5
4	23	0	11.5	1.5
5	17	6	11.5	1.5
6	22	5	13.5	3.5
7	23	5	14	4
8	24	2	13	3
9	25	3	14	4
10	25	6	15.5	5.5
11	25	2	13.5	3.5
12	24	4	14	4
13	22	10	16	6
14	24	5	14.5	4.5
15	24	0	12	2
16	24	0	12	2
17	25	2	13.5	3.5
18	24	0	12	2
19	19	2	10.5	0.5
20	19	2	10.5	0.5
21	23	6	14.5	4.5
22	24	10	17	7
23	19	6	12.5	2.5
24	22	6	14	4
25	22	6	14	4
26	22	6	14	4
27	22	9	15.5	5.5
28	22	4	13	3
29	19	10	14.5	4.5
30	18	6	12	2

Cuadro 15A. Temperaturas del mes de diciembre 2021

Mes: Diciembre	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	24	5	14.5	4.5
2	25	6	15.5	5.5
3	23	3	13	3
4	25	3	14	4
5	20	7	13.5	3.5
6	25	3	14	4
7	26	7	16.5	6.5
8	23	3	13	3
9	25	5	15	5
10	24	4	14	4
11	24	6	15	5
12	22	0	11	1
13	22	0	11	1
14	24	3	13.5	3.5
15	23	4	13.5	3.5
16	23	4	13.5	3.5
17	25	3	14	4
18	23	10	16.5	6.5
19	20	9	14.5	4.5
20	15	10	12.5	2.5
21	17	0	8.5	-1.5
22	18	0	9	-1
23	18	0	9	-1
24	22	1	11.5	1.5
25	22	1	11.5	1.5
26	21	1	11	1
27	21	1	11	1
28	20	2	11	1
29	20	2	11	1
30	23	4	13.5	3.5
31	17	0	8.5	-1.5

Cuadro 16A. Temperaturas del mes de enero 2022.

Mes: Enero	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	24	11	17.5	7.5
2	24	4	14	4
3	22	-2	10	0
4	18	0	9	-1
5	22	-1	10.5	0.5
6	25	1	13	3
7	23	2	12.5	2.5
8	22	4	13	3
9	20	3	11.5	1.5
10	23	8	15.5	5.5
11	12	9	10.5	0.5
12	17	9	13	3
13	18	-2	8	-2
14	22	-1	10.5	0.5
15	23	3	13	3
16	19	3	11	1
17	7	-3	2	-8
18	10	-1	4.5	-5.5
19	22	2	12	2
20	13	3	8	-2
21	18	6	12	2
22	11	4	7.5	-2.5
23	10	1	5.5	-4.5
24	16	5	10.5	0.5
25	18	8	13	3
26	13	2	7.5	-2.5
27	18	6	12	2
28	18	9	13.5	3.5
29	11	2	6.5	-3.5
30	12	3	7.5	-2.5
31	20	5	12.5	2.5

Cuadro 17A. Temperaturas del mes de febrero 2022.

Mes: Febrero	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	20	-1	9.5	-0.5
2	21	-1	10	0
3	24	6	15	5
4	20	4	12	2
5	14	4	9	-1
6	15	4	9.5	-0.5
7	17	7	12	2
8	0	-1	-0.5	-10.5
9	10	-1	4.5	-5.5
10	16	0	8	-2
11	17	2	9.5	-0.5
12	16	3	9.5	-0.5
13	14	4	9	-1
14	11	0	5.5	-4.5
15	20	2	11	1
16	22	2	12	2
17	25	6	15.5	5.5
18	25	2	13.5	3.5
19	22	3	12.5	2.5
20	18	5	11.5	1.5
21	24	6	15	5
22	25	9	17	7
23	28	10	19	9
24	28	11	19.5	9.5
25	27	9	18	8
26	24	10	17	7
27	25	8	16.5	6.5
28	22	9	15.5	5.5
29				
30				
31				

Cuadro 18A. Temperaturas del mes de marzo 2022.

Mes: Marzo	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	19	3	11	1
2	25	4	14.5	4.5
3	25	9	17	7
4	24	7	15.5	5.5
5	28	9	18.5	8.5
6	29	10	19.5	9.5
7	28	10	19	9
8	24	11	17.5	7.5
9	26	6	16	6
10	24	9	16.5	6.5
11	24	7	15.5	5.5
12	25	6	15.5	5.5
13	12	1	6.5	-3.5
14	22	5	13.5	3.5
15	22	5	13.5	3.5
16	22	3	12.5	2.5
17	27	2	14.5	4.5
18	27	3	15	5
19	24	2	13	3
20	26	2	14	4
21	26	2	14	4
22	28	2	15	5
23	25	1	13	3
24	25	1	13	3
25	26	1	13.5	3.5
26	28	0	14	4
27	28	-1	13.5	3.5
28	26	9	17.5	7.5
29	27	10	18.5	8.5
30	31	7	19	9
31	31	6	18.5	8.5

Cuadro 19A. Temperaturas de mes de abril 2022.

Mes: Abril	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	31	4	17.5	7.5
2	30	4	17	7
3	30	5	17.5	7.5
4	30	5	17.5	7.5
5	30	5	17.5	7.5
6	30	6	18	8
7	30	5	17.5	7.5
8	30	4	17	7
9	22	8	15	5
10	8	2	5	-5
11	26	10	18	8
12	29	12	20.5	10.5
13	27	12	19.5	9.5
14	29	11	20	10
15	29	12	20.5	10.5
16	27	13	20	10
17	32	15	23.5	13.5
18	32	14	23	13
19	30	13	21.5	11.5
20	26	11	18.5	8.5
21	27	12	19.5	9.5
22	29	13	21	11
23	30	12	21	11
24	26	12	19	9
25	29	13	21	11
26	29	14	21.5	11.5
27	20	14	17	7
28	22	12	17	7
29	26	12	19	9
30	27	13	20	10

Cuadro 20A. Temperaturas del mes de mayo 2022.

Mes: Mayo	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Promedio	Horas calor
1	29	11	20	10
2	29	11	20	10
3	30	10	20	10
4	29	13	21	11
5	32	16	24	14
6	30	13	21.5	11.5
7	32	14	23	13
8	30	13	21.5	11.5
9	34	13	23.5	13.5
10	33	14	23.5	13.5
11	29	14	21.5	11.5
12	20	12	16	6
13	29	11	20	10
14	30	11	20.5	10.5
15	31	12	21.5	11.5
16	30	12	21	11
17	30	13	21.5	11.5
18	30	12	21	11
19	30	12	21	11
20	30	11	20.5	10.5
21	30	12	21	11
22	27	12	19.5	9.5
23	26	11	18.5	8.5
24	23	14	18.5	8.5
25	29	13	21	11
26	26	14	20	10
27	26	14	20	10
28	28	12	20	10
29	29	12	20.5	10.5
30	29	10	19.5	9.5
31	29	13	21	11

Cuadro 21A. Datos de medidas de cladodio madre y raíz.

Orden	Tratamiento	Repetición	Peso cladodio y raíz (g)	Largo de raíz (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
1	8	1	2.800	44	0.100	0.035
2	7	1	4.050	51	0.185	0.065
3	5	1	3.785	43	0.065	0.025
4	1	1	2.995	46	0.055	0.020
5	4	1	1.675	42	0.085	0.030
6	2	1	1.670	46	0.070	0.025
7	3	1	4.580	43	0.165	0.055
8	5	2	1.820	45	0.070	0.020
9	6	2	2.075	56	0.040	0.005
10	8	2	5.400	55	0.185	0.040
11	7	2	4.195	76	0.130	0.080
12	2	2	4.305	40	0.205	0.010
13	3	2	3.255	67	0.115	0.070
14	1	2	1.370	43	0.020	0.015
15	4	2	1.965	44.5	0.050	0.025
16	7	3	4.585	36	0.175	0.070
17	8	3	2.840	57	0.130	0.045
18	6	3	1.595	40	0.045	0.010
19	5	3	2.305	47	0.065	0.030
20	4	3	2.860	57	0.125	0.045
21	1	3	2.955	48	0.080	0.030
22	3	3	2.790	64	0.140	0.050
23	2	3	2.010	80	0.055	0.025
24	6	4	1.330	62	0.045	0.015
25	5	4	2.285	60	0.030	0.015
26	8	4	1.795	74	0.060	0.020
27	3	4	3.600	59	0.165	0.060
28	2	4	0.405	35	0.015	0.005
29	4	4	2.760	51	0.110	0.040
30	1	4	1.150	34	0.020	0.000

Cuadro 22A. Propiedades químicas en los brotes de los cladodios madre.

Tratamiento	Repetición	N	P	K	M.O.
		(%)	(%)	(%)	(%)
1	R1	0.609	0.001	2.13	80
2		0.581	0.128	2.016	88
3		0.546	0.109	2.483	83
4		1.106	0.188	3.207	70
5		0.679	0.060	2.05	80
6		1.288	0.260	2.621	71
7		0.749	0.219	2.798	79
8		0.742	0.142	2.07	79
1	R2	0.623	0.094	1.705	84
2		1.008	0.203	2.862	77
3		0.637	0.360	4.124	79
4		0.861	0.251	2.985	71
5		0.567	0.126	2.447	76
7		0.564	0.321	3.181	78
8		0.56	0.184	2.856	78
1	R3	0.462	0.106	1.685	81
3		0.588	0.174	1.74	83
4		0.735	0.197	1.668	79
5		0.385	0.138	1.78	80
7		0.595	0.206	2.792	77
8		0.695	0.156	2.366	76
1	R4	0.63	0.075	2.386	85
2		0.742	0.167	2.215	82
3		0.714	0.194	1.967	82
4		0.364	0.119	1.658	80
5		0.546	0.191	1.933	84
6		0.679	0.181	1.897	81
7		0.525	0.075	1.91	86