

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Medición del estrés hídrico en la producción de nopal verdura variedad Atlixco.

por:

JOEL DAMIAN SANTIAGO APARICIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

MEDICION DEL ESTRÉS HIDRICO EN LA PRODUCCION DE NOPAL

Por:

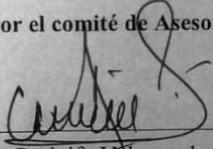
JOEL DAMIAN SANTIAGO APARICIO

TESIS

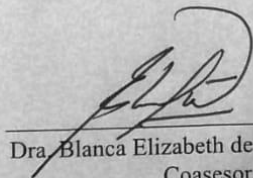
Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

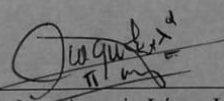
Aprobada por el comité de Asesoría:



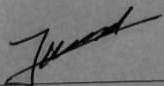
Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García
Asesor Principal.



Dra. Blanca Elizabeth de la Peña Casas
Coasesor.



M.C. Juan Antonio López López
Coasesor



MC. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

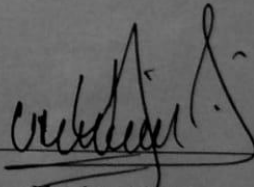
Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor. Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organizacional, medio público o privado.

Autor principal



Nombre y firma
Joel Damian Santiago Aparicio.

Asesor principal



Nombre y firma
Dr. Jesus Roberto Valenzuela G.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Pedro Santiago Aparicio.

Cirila Aparicio Domínguez.

Por su inquebrantable apoyo a lo largo de mi carrera profesional, desde el principio, su amor y aliento han sido la fuerza motriz que me ha impulsado a superar cada obstáculo a perseguir mis sueños con determinación y firmeza.

Gracias, mamá y papá, por creer en mí, incluso en los momentos en que yo mismo dudaba, su confianza en mis capacidades me ha brindado el valor necesario para seguir adelante, sus sacrificios, tanto grandes como pequeños, han sido un pilar fundamental en mi desarrollo personal y profesional. No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por todas las veces que me han animado, aconsejado y ayudado a mantener el rumbo.

Agradezco su paciencia infinita, su sabiduría y su amor incondicional, han sido un ejemplo de dedicación y perseverancia que siempre llevaré conmigo, su apoyo me ha permitido alcanzar logros que antes solo eran sueños, y por eso, les estaré eternamente agradecido.

Este éxito no es solo mío, sino también de ustedes, su respaldo ha sido esencial en cada paso de este camino, y su influencia positiva seguirá guiándome en los futuros desafíos, gracias por ser mis mayores aliados y por estar siempre a mi lado.

La profunda conexión de padres e hijos se ve reflejada en mis logros que con su apoyo incondicional siempre nos llevara a la victoria, el esfuerzo no es solo mío, así como cada obstáculo que se atravesase siempre resurgiré victorioso, porque los tengo a ustedes, mis padres.

A MIS HERMANOS

Hilario Santiago Aparicio.

Bertín Plácido Santiago Aparicio.

Que, desde el principio, han sido una fuente inagotable de motivación y aliento, y su apoyo ha sido fundamental para que pudiera alcanzar mis metas.

Gracias, hermanos, por creer en mí y por estar siempre presentes, ofreciendo palabras de ánimo y consejos sabios. Sus palabras de aliento en momentos de duda y su confianza en mis habilidades han sido cruciales para mantenerme enfocado y motivado, Sus propios logros y esfuerzos han sido una inspiración constante, mostrándome que con dedicación y perseverancia todo es posible.

Ustedes han sido mi ejemplo a seguir desde pequeño, me establecí metas por ustedes, hoy he logrado las metas que me he propuesto, gracias a ustedes por ser una fuente de motivación.

Abigail Zavala Ramirez.

La que me ha dado todo su amor incondicional, han sido una fuente constante de fortaleza y motivación para mí., apoyarme en mis momentos de dudas, levantarme en mis momentos más vulnerables, por estar siempre a mi lado, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada logro y cada paso hacia adelante.

Gracias por ser mi mayor aliada, por creer en mí y por hacer que cada día sea mejor con tu sonrisa. Eres una bendición en mi vida, y te estaré eternamente agradecido por todo lo que haces por mí.

A MI ALMA MATER

Por acogerme como una madre, abrirme las puertas para poder llevar acabo mis metas de salir como ingeniero de la carrera MECÁNICO AGRÍCOLA, de poderme sentir en casa y con muchos amigos con quienes convivir.

A mis abuelos paternos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis abuelos paternos. Aunque no tuve la oportunidad de conocer a mi abuela y solo compartí un corto tiempo con mi abuelo, su influencia ha dejado una huella imborrable en mi vida.

A mi abuelo, gracias por los momentos que compartimos y por las enseñanzas que me dejaste. Aunque nuestro tiempo juntos fue breve, tus valores y tu ejemplo de vida han sido una guía para mí. Recuerdo con cariño cuando te decía que me contaras tus anécdotas de vida, tus historias y consejos, y siempre llevaré en mi corazón el impacto positivo que tuviste en mi vida.

A mi abuela, aunque no tuvimos la oportunidad de conocernos, sé que tu legado vive a través de nuestra familia. Agradezco las enseñanzas y el amor que transmitiste a mi padre, los cuales han llegado hasta mí. Tu influencia, aunque indirecta, ha sido fundamental en mi desarrollo y formación.

A mis abuelos maternos

A mis abuelos maternos, gracias por su amor incondicional y por siempre estar dispuestos a escucharme y aconsejarme. Su paciencia y comprensión me han brindado el consuelo y el apoyo necesario en los momentos difíciles. Sus palabras de aliento y su ejemplo de vida me han enseñado a enfrentar los desafíos con valentía y optimismo.

Estoy profundamente agradecido por el amor y los valores que me han sido transmitidos a través de generaciones. Gracias, abuelos, por ser una parte esencial de mi historia y por el impacto duradero que han tenido en mi vida.

DEDICATORIA

A las personas que más amo en el mundo que me dieron una educación, formación digna, que, con mucho trabajo, esfuerzo, dedicación y confianza, para poder concluir mis metas este esfuerzo se los dedico con todo el esfuerzo y amor para ellos.

A MIS PADRES

Pedro Santiago Aparicio.

Cirila Aparicio Domínguez.

Por darme todo el amor, apoyo incondicional para poder cumplir cada una de mis metas de mi vida tanto como personal y profesional, no tengo palabras para expresar mi agradecimiento por tener puesto esa confianza, darme esa motivación de seguir estudiando, de tener una carrera terminada, hoy les digo que se logró, lo hemos logrado, papá, mamá, el esfuerzo no es solo mío, también es de ustedes, gracias por apoyarme cada paso de mi vida y sé que lo seguirán haciendo. Así como ustedes colocaron ese granito de arena en mi vida profesional, que ha sido mi fortaleza, mi motivación, me toca a mí, corresponderles con mucho amor, alegría cada uno de sus planes.

A MIS HERMANOS

En cada paso que ustedes han dado en su vida, han dejado unas huellas muy grandes por la cual seguir, las he seguido, ustedes han sido mi motivación, mis propias metas, para poder seguir con el estudio, como trabajar duro, como hacer para poder sobresalir en ocasiones de desesperación, saber que todo problema tiene una solución. Gracias por apoyarme con mis estudios, sin su ayuda no podría lograr este gran meta que he logrado y concluido, gracias por tanto apoyo, como hermanos estamos para apoyarnos, ser un pilar grande para cada uno de nosotros, en ante mano estoy muy agradecido por el apoyo tanto como económicos, como consejos, gracias por esas regañadas, por averme impulsado para echarle ganas al estudio. Este gran logro no es solo mis si no también de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

HOJA DE FIRMAS.....	i
DECLARACIÓN DE NO PLAGIO.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2 Objetivo general	4
1.3 Objetivos específicos.....	4
1.4 Hipótesis	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 El nopal como verdura en la dieta del ser humano.....	5
2.2 Precipitación anual con mayor producción de nopal.....	6
2.3 Uso benéfico del nopal.....	7
2.4 Uso histórico del nopal como alimento.....	7
2.5 Uso histórico del nopal como medicina.....	8
2.6 Producción nacional de nopal	11
2.7 Principales estados de productores de nopal.....	12
2.8 VARIEDADES DE NOPAL.....	13
2.8.1 Nopal opuntia ficus-indica.....	13

2.8.2	Nopal opuntia streptacantha.....	15
2.8.3	Nopal opuntia robusta.....	16
2.8.4	Nopal opuntia megacantha.....	17
2.8.5	Nopal forrajero.....	18
2.8.6	El nopal Xoconostle	18
2.9	ESTRÉS HIDRICO DEL NOPAL	19
2.10	Efecto del estrés hídrico del nopal	20
2.11	ETAPAS O DESARROLLO FENOLOGICO DEL NOPAL	21
2.11.1	Adaptación y crecimiento inicial.....	21
2.11.2	Exposición y condiciones al suelo	22
2.11.3	Floración y polinización.....	22
2.11.4	Desarrollo de frutos	23
2.11.5	Cosecha de cladodios.....	23
2.11.5	Resistencias y usos.....	24
3	MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1	Localización donde se llevó a cabo el experimento	25
3.2	Materiales y equipo	25
3.3	METODOLOGÍA	25
3.3.1	Extracción de nopal.	25
3.3.2	Preparación del Terreno.....	26
3.3.3	Plantación de nopales	33

3.3.4	Instalación de sistema de riego	34
3.3.5	Delimitación de surcos para evitar traslape de humedad	35
3.3.6	Señalamiento de tratamiento e inicio de riego	36
3.3.7	Volumen de riego por tratamiento	36
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
6	BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ambientes áridos	20
Figura 2 Fracmentacion	20
Figura 3 Nopal verdura, Opuntia ficus-indica	25
Figura 4. Nopal tunero, Opuntia streptacantha	28
Figura 5. Nopal Opuntia robusta	29
Figura 6. Nopal Opuntia megacantha	30
Figura 7 Nopal forrajero.....	30
Figura 8. Nopal y Xoconostle.....	31
Figura 9. Adaptación y crecimiento del nopal	34
Figura 10 Exposición y condiciones al suelo del nopal	34
Figura 11 Floración y polinización del nopal	35
Figura 12 Desarrollo de frutos del nopal verdura	36
Figura 13. Cosecha de cladodios	36
Figura 14 Resistencia y usos del nopal verdura	37
Figura 15 Localización geográfica del experimento	37
Figura 16. Selección de sitio	39
Figura 17 Rastreo	39
Figura 18 Vista trasera	40
Figura 19 Subsolador vista lateral	40
Figura 20 surco con arado	41
Figura 21 Sistema de dirección automática	41
Figura 22 Tensiómetro	41
Figura 23 Medidor de humedad de suelo.....	41
Figura 24. Textura del suelo	44
Figura 25 Agujeros para el cultivo	45

Figura 26 Colocación del cladodio	45
Figura 27 Propuesta de sistema de riego	46
Figura 28 Instalación	47
Figura 29 Cintilla	47
Figura 30 Surcos bien definidos.....	47
Figura 31 Distribución eficiente	47
Figura 32 Señalamiento	48
Figura 33 Riego	48
Grafica 1 Principales estados productores	25
Grafica 2 Tensión de humedad de suelo	42
Grafica 3. Comportamiento del rendimiento en nopal sometidas a diferentes niveles de estrés hídrico.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de usos benéficos del nopal	21
Tabla 2. Composición química de pencas de nopal	22
Tabla 3. Componentes de la calidad de nopal verdura incluidos en la norma mexicana	23
Tabla 4. Determinación de la curva de humedad 2024.....	42
Tabla 5. Gastos de la cintilla 1 L/h por gasto	43
Tabla 6. Descripción de tratamiento	37
Tabla 7. Comparación de medias	38

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el nopal ha ganado relevancia como cultivo estratégico en México, no solo por sus usos alimenticios y económicos, sino también por su capacidad para prosperar en condiciones climáticas adversas. Este desarrollo ha ido acompañado de un crecimiento sostenido en su producción y en la implementación de tecnologías agrícolas. En 2019, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la superficie sembrada de nopal verdura alcanzó las 12,799 hectáreas. De esta área, el 97.8% fue cosechada, generando una producción total de 891,821 toneladas, con un rendimiento promedio de 71 toneladas por hectárea. La producción nacional de nopal muestra una clara estacionalidad, con el periodo de marzo a junio concentrando el 53.3% del total anual. Este pico productivo está asociado a las condiciones climáticas favorables durante esta época, lo que maximiza el rendimiento del cultivo. En la última década, la superficie sembrada de nopal en México ha registrado un crecimiento moderado del 2.6%. Sin embargo, su producción ha experimentado un aumento del 23%, lo que refleja avances significativos en el desarrollo tecnológico y en las prácticas de manejo agrícola. Como destacó Villalobos Arámbula en ", este incremento en la productividad es un indicador claro del impacto positivo de las innovaciones en el cultivo de esta hortaliza (Infoagro, 2020).

México destaca a nivel mundial por su producción de nopal, considerado una de las 15 hortalizas más importantes del país, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017). Este cultivo ocupa el 2.59% de la superficie agrícola nacional y genera un valor económico de 53,479 millones de pesos. La producción de nopal se distribuye en 27 estados de la República Mexicana. Morelos y el estado de México son los principales productores de nopal verdura; Coahuila se especializa en nopal forrajero; y el Estado de México y Zacatecas destacan por el nopal tunero (Millán y Pérez, 2021).

En 2020, México registró una producción de nopalitos de 862,733 toneladas (un descenso del 3.3% respecto a 2019), que se obtuvieron de 12,472 hectáreas (-0.4%), lo que resultó en un rendimiento medio nacional de 69.2 toneladas por hectárea. Inicialmente, la superficie sembrada alcanzó las

12,618 hectáreas. Adicionalmente, el valor promedio por tonelada se situó en 2,463 pesos mexicanos (-9.4%), lo que indica que el valor de producción de este cultivo fue de 2,125 millones de pesos (-12.4%) (Bastida Cañada, 2023).

Durante el censo que realizó el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el 2022, la producción nacional en territorio mexicano, indica que la 891 mil 821 toneladas, plantadas en 12 mil 799 hectáreas (INEGI, 2022).

En la República Mexicana, hay alrededor de tres millones de hectáreas de nopaleras silvestres, principalmente en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco, estas son trabajadas comercialmente mediante la agricultura. Los estados productores principales son Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco, Hidalgo, Puebla y México (Pimienta, 1990).

Las variedades de nopal son excepcionalmente adaptables a diversas condiciones ambientales. Sus sistemas de raíces extensos y profundos, que permiten una absorción eficiente de agua, y sus cladodios suculentos, que almacenan agua y nutrientes, demuestran esta adaptabilidad. Las técnicas de cultivo también tienen un impacto en la productividad y la calidad de los nopales; el riego, la fertilización y el control de plagas son factores importantes. El nopal (*Opuntia* spp.) es una planta suculenta de gran valor agrícola y cultural en México y otras partes del mundo. Las variedades de nopal se dividen principalmente en dos géneros: Nopal verdura: se cultiva a partir de sus cladodios tiernos y se usa para hacer ensaladas, guisos y otros platos. Nopal frutal: cultivado por tunas, es popular para hacer jugos y postres porque varía en color y sabor (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

En general, los rendimientos de verdura de nopal en México oscilan entre 68.5 y 77.9 toneladas por hectárea, con variaciones según la región y las prácticas agrícolas. Para mejorar estos rendimientos, es necesario optimizar elementos como el suelo y el manejo del agua. Durante todo el año, en el mercado nacional, la producción más importante se produce de marzo a junio, aunque solo se utilizan áreas limitadas para el riego, la mayoría de las ubicaciones se encuentran en regiones temporales, donde las condiciones climáticas son más suaves y frías, con una cantidad reducida de precipitaciones anuales (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

El nopal es uno de los productos más solicitados tanto en el mercado nacional como internacional debido a sus propiedades y características únicas. Se estima que, en promedio, las personas consumen 5 kg al año. Con un volumen de exportación cercano a las 34 mil toneladas anuales, Estados Unidos, Francia y Japón son los principales países importadores. Alrededor de 11 mil empleos directos e indirectos se crean en varios países gracias a este comercio, que genera aproximadamente 9.4 millones de dólares al año. (Aduanera, 2021).

Las exportaciones de nopal y sus productos derivados se han mantenido e incluso han alcanzado nuevos mercados a pesar de la pandemia de COVID-19. Las exportaciones de nopal aumentaron un 4 % en comparación con 2019 de enero a septiembre de 2020, según el director de Desarrollo Económico. Japón, Corea del Sur y Alemania son los principales países importadores de este producto, quienes, al conocer sus beneficios para la salud, han mostrado un mayor interés en adquirirlo y consumir sus productos derivados. (Aduanera, 2021).

Los datos internacionales indican un valor significativo en la importación de nopal tiene un gran valor de importación mundial en 2023 a \$4.11 mil millones Estados Unidos, Japón y Alemania son los principales importadores de nopal a nivel mundial. En 2023, los Estados Unidos importó nopal por \$888.7 millones, seguido por Japón por \$599.1 millones y Alemania por \$425.4 millones (TRIDGE, 2009-2023).

Los nopales, también llamados cactus, son una planta característica de la cultura mexicana y de diversas zonas de América Latina. Han sido fundamentales en la alimentación y las costumbres culinarias de estas regiones por muchos años, teniendo además un valor cultural y medicinal significativo. Además de su versatilidad en la cocina, los nopales son una fuente rica de nutrientes. Son bajos en calorías, pero altos en fibra, lo que los convierte en un alimento ideal para quienes buscan mantener una dieta equilibrada. También son una fuente de vitamina C, vitamina A, calcio y magnesio. Su consumo regular se asocia con beneficios para la salud, como la regulación del azúcar en sangre y la reducción del colesterol (Betancourt-Domínguez et al., 2006).

Los nopales no solo son valiosos en la mesa, es importante en la herencia cultural de América Latina. Han sido utilizados en la medicina tradicional para tratar una variedad de dolencias y se les atribuyen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Además, el cactus de nopal es un símbolo de resistencia y tenacidad, ya que puede sobrevivir en condiciones adversas de sequía y altas temperaturas, lo que lo convierte en un emblema de la fortaleza de la cultura mexicana y de muchas otras comunidades que valoran esta planta (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

México es el productor principal de nopal verdura (74 %) en el mundo y el consumidor más importante en su forma fresca y procesada, pero el mercado extranjero, principalmente el de EE.UU. y Canadá, es una oportunidad creciente. Las características nutricionales de los nopales han despertado interés en mercados europeos y asiáticos (Peña-Valdivia et al., 2012) pues son benéficos para el tratamiento de diversos padecimientos (Stintzing y Carle, 2005), y además son fuente de vitamina C (Betancourt-Domínguez et al., 2006), minerales (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988) y fibra soluble e insoluble (Peña Valdivia et al., 2012).

Palabras Clave: Estrés hídrico en nopal verdura, variedad Atlixco.

1.2 Objetivo general

Evaluar el impacto del estrés hídrico del nopal verdura de la variedad Atlixco.

1.3 Objetivos específicos.

Se realizó el monitoreo de los siguientes parámetros para cada tratamiento:

- Monitorear la temperatura de la planta madre.
- Monitorear la temperatura del nopal verdura.
- Monitorear la temperatura del suelo
- Monitorear el porcentaje de humedad
- Determinar la producción de cada tratamiento
- Determinar El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

1.4 Hipótesis

El estrés hídrico afecta la producción de nopal verdura de la variedad Atlixco

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El nopal como verdura en la dieta del ser humano.

Su nombre proviene de un pueblo antiguo de Grecia llamado Opus u Opuncia, en la región de Leócrida, Beocia, donde se cree que había una planta que se parecía a las cactáceas. En 1753, Linneo nombró a los nopales como *Cactus opuntia*, el género de cactáceas más común. Posteriormente, Miller tomó la decisión correcta y se asignó la especie tipo *Opuntia ficus-indica* al género, del cual se conocen actualmente cerca de 220 especies y en México se encuentran entre 60 y 90. Su diversidad morfológica refleja la complejidad de su nomenclatura (Conabio, 2023).

El nopal es una planta icónica de México, conocida por su versatilidad y múltiples beneficios. En México, se cultivan y consumen diversas Variedades de nopales debido a sus características únicas y sus aplicaciones culinarias, medicinales y forrajeras, a continuación, se mencionan las más usuales en México:

- El nopal *Opuntia ficus-indica*.
- *Opuntia streptacantha*.
- *Opuntia robusto*
- Nopal forrajero.
- Nopal Xoconostle

2.2 Precipitación anual con mayor producción de nopal.

El desarrollo de este cultivo depende de la precipitación anual para el caso de producción de temporal. Los estados que producen más son Morelos, el Estado de México, Puebla y Hidalgo (De México, 2023).

La precipitación anual en estos estados y su relación con la producción de nopal se describen a continuación en términos regionales.

Morelos.

Las condiciones climáticas favorables de Morelos permiten buenos rendimientos del cultivo, es el principal productor de nopal en México. La precipitación media anual de Morelos oscila entre 800 mm y 1,200 mm, lo que crea condiciones favorables para el crecimiento del nopal, especialmente en regiones temporales donde se cultiva en condiciones secas (Sánchez et al., 2023).

Estado de México.

La precipitación media anual en el Estado de México es de alrededor de 700 mm, lo que lo coloca en tercer lugar en la producción de nopal. El municipio de Otumba es responsable del 57% de la producción del estado. Dado que el nopal se cultiva tanto en sistemas de riego como en temporales, la variabilidad climática y la disponibilidad de agua son factores que afectan la producción (Sánchez et al., 2023).

Puebla.

La precipitación anual en Puebla, otro estado importante en la producción de nopal, oscila entre 600 mm y 800 mm. Esta cantidad de lluvia es suficiente para cultivar nopal, que crece bien en climas templados y áridos. La gestión adecuada del agua, especialmente durante las sequías, es esencial para la producción en Puebla (Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2022).

Hidalgo

Tiene características similares a las de Puebla y el Estado de México, con una precipitación promedio de alrededor de 600 mm anualmente. Este estado produce nopal en áreas donde la

precipitación es suficiente para el cultivo, pero también se utilizan métodos de riego para aumentar la producción (Precipitación, 2020) & (Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2018).

Los nopales, a diferencia de la mayoría de las plantas, viven en ambientes áridos porque absorben el dióxido de carbono necesario para su metabolismo durante la noche (Figura 1), evitando así la pérdida de agua. No obstante, su amplia distribución se debe principalmente a su facilidad para propagarse, ya sea por fragmentación (al caer una penca al suelo, sus areolas producen raíces y originan una nueva planta (Figura 2) o por semilla (esto es menos común, pero da como resultado plantas más fuertes y genéticamente distintas (Conabio, 2024).



Figura 1. Ambientes áridos (Leash, 2024).



Figura 2. Fracmentacion (Las partes del nopal, 2022).

2.3 Uso benéfico del nopal.

El nopal contiene compuestos químicos que pueden beneficiar la salud de los animales que lo consumen, entre ellos las pectinas. Estas sustancias, presentes en abundancia en el nopal, tienen propiedades que ayudan a reducir los niveles de colesterol en el organismo (Ben- Salem et al., 1996).

2.4 Uso histórico del nopal como alimento.

El nopal ha sido un alimento esencial en la cultura mexicana desde tiempos antiguos. Ha sido consumido como verdura y fruto y se ha utilizado para hacer una variedad de platos y formas, como hervido, asado, en polvo, guisos, sopas, ensaladas, jugos y dulces. Además, durante la era

colonial, sus frutos eran muy apreciados por proporcionar la vitamina C necesaria para prevenir el escorbuto (Núñez, 2022).

Debido a su fácil cultivo y abundancia natural, el nopal ha sido una planta fundamental en la alimentación desde los primeros asentamientos en Mesoamérica. Durante muchos siglos, este cactus ha sido esencial para la dieta mexicana y se puede encontrar en una variedad de platos, como ensaladas, guisos y tortillas. El nopal sigue siendo un componente esencial de la gastronomía mexicana incluso en la actualidad. Aproximadamente 863,000 toneladas de nopal se produjeron en 2020, con un consumo promedio de 6.3 kg por persona (Sabor, 2020).

2.5 Uso histórico del nopal como medicina.

Desde la época prehispánica, el nopal se ha utilizado como remedio, principalmente para afecciones de la piel, así como para curar golpes, contusiones y quemaduras. Se ha demostrado hasta ahora que el nopal tiene propiedades medicinales importantes. Se ha utilizado para tratar enfermedades de la piel, así como para tratar la diabetes, la acidez, la gastritis y los cólicos intestinales. Además, existe evidencia científica que respalda su eficacia como tratamiento popular para la resaca por el alcohol. El nopal es una planta rica en fibra, antioxidantes, carotenoides, vitaminas y minerales, lo que lo convierte en un recurso natural valioso que tiene beneficios para la salud humana, que nos brindan muchos usos benéficos medicinales (Tabla 1) (De Los Usos Medicinales del Nopal, Prehispánicos y Actuales, 2022).

Tabla 1. Descripción de usos benéficos del nopal. Conabio. -c, Coello, L. (2023). Leal, K., & Leal, K. (2024). Santillán, T. (2022).

Los nopales tienen un gran potencial para la industrialización porque pueden producir una variedad de productos a partir de sus cladodios, como jugos, mermeladas, encurtidos y productos mínimamente procesados. Los cladodios contienen compuestos funcionales valiosos que se pueden extraer para enriquecer alimentos y para fabricar aditivos naturales utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. El nopal también puede usarse en una variedad de industrias, incluida la producción de suplementos alimenticios, medicamentos, cosméticos, biogás y productos agrícolas. La fibra de los cladodios, obtenida por secado y molienda, se usa en la fabricación de alimentos y suplementos, con productos como nopal en cápsulas y tabletas disponibles para el control de la diabetes y la obesidad (Fрати-Munari et al., 1992).

Los compuestos funcionales tienen efectos positivos en la salud. Tanto los frutos como los cladodios son una fuente interesante de tales componentes, entre los que destacan la fibra, los

Usos	Descripción
Controlar la diabetes	Los polisacáridos, las fibras solubles y otras sustancias que ayudan a regular el azúcar en la sangre se encuentran en el nopal.
Disminuir el colesterol	Gracias a su alto contenido de vitaminas A, B y C, así como otros fitoquímicos, el consumo de nopal reduce los niveles de colesterol en la sangre.
Prevenir el cáncer	Algunos estudios indican que el nopal puede disminuir la cantidad de células cancerígenas.
Uso culinario	Las pencas y frutos del nopal son comestibles y se usan en bebidas, mermeladas, guisos, sopas y ensaladas mexicanas.
Forraje animal	Para los animales rumiantes, el nopal es una buena fuente de agua y energía.
Pérdida de peso	El nopal es capaz de captar grasas evitando su absorción y proporciona una sensación prolongada de saciedad.
Elaboración de fertilizantes	El nopal se puede usar para producir fertilizantes naturales como el compost.
Cosméticos	Debido a sus propiedades hidratantes, antiinflamatorias y antioxidantes, el nopal se ha utilizado en la cosmética.

hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio) y algunas vitaminas, como la vitamina C, que es importante por sus propiedades

antioxidantes. Los nopalitos frescos son principalmente agua, constituyendo cerca del 91% de su peso. Además, presentan componentes con respectivas pencas unas de ellas son energía (Kcal), proteína (g) en la siguiente tabla se muestra una de ellas con sus datos (Tabla 2) (Sáenz, 2004) & (Rodríguez-Félix, 1988).

Tabla 2. Composición química de pencas de nopal (*Opuntia spp.*) con base en 100 g de materia fresca (Villegas y de Gante, 1995).

Componentes	Pencas
Energía (kcal)	27.00-37.00
Proteína (g)	1.10-1.70
Extracto Etéreo (g)	0.40
Hidratos de carbono (g)	5.60-8.80
Cenizas (g)	0.90
Calcio (mg)	93.00-110.00
Fósforo (mg)	20.00
Hierro (mg)	0.50
Vitamina A (μg eq)	41.00-50.00
Tiamina (mg)	0.04
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.20
Ácido ascórbico (mg)	19.00

Los cladodios mínimamente procesados son productos que están diseñados para mantener su frescura y brindar comodidad al consumidor. A pesar de que suelen ser más costosos que los productos envasados, son más eficientes en cuanto al uso de energía y al aprovechamiento de los materiales. Estos productos, también llamados "cortados frescos" o "procesados frescos", pasan por procesos como limpieza, lavado, recorte y corte. Los clientes quieren que estos productos sean atractivos y apetitosos visualmente (Rodríguez-Félix & Soto-Valdez, 1992).

En México, las normas de calidad para el nopal se rigen principalmente por dos estándares, la norma mexicana, clasifica el nopal en tres grados de calidad: México extra, México 1 y México 2. Establece tamaños según la longitud de las pencas: A: Mayor o igual a 25.1 cm, B: De 18.1 a 25.0 cm, C: De 11.1 a 18.0 cm, Cambray: De 7.0 a 11.0 cm, exige que el producto sea fresco, limpio, entero, sano, libre de pudrición y de humedad exterior anormal, con características de color, sabor y olor propios de la especie y variedad. (Tabla 3) (MX-FF-068-SCFI-2006).

Tabla. 3 Componentes de la calidad de nopal verdura incluidos en la norma mexicana (NMX-FF-068-SCFI-2006).

Característica	Norma Mexicana [†]
Calidad	En función de sus especificaciones México Extra; México 1; México 2
Tamaño/calibre (cm)	A (25.1 o más); B (18.1 a 25); C (11.1 a 18); Cambray (7 a 11)
Intervalos de calidad	Por tamaño México Extra: 10 % [§] ; México 1: 15 %; México 2: 20 % Por defectos y por número de piezas
Disposiciones sobre la presentación	Marcado y etiquetado Envase y embalaje

2.6 Producción nacional de nopal

En 2011, en México se destinaron 12,645 hectáreas al cultivo de nopal verdura, de las cuales se cosecharon 12,180 hectáreas. El rendimiento promedio fue de 64 toneladas por hectárea, lo que resultó en una producción total de 777,413 toneladas (SIAP, 2011).

Las principales áreas productoras en términos de superficie cultivada y producción son Milpa Alta, DF y Tlalnepantla, Morelos (SIAP 2011), las cuales suministran el 70% del consumo nacional, además, el 94% de esta producción se consumió dentro del territorio nacional, reflejando su importancia en la dieta mexicana. (Blanco et al., 2012)

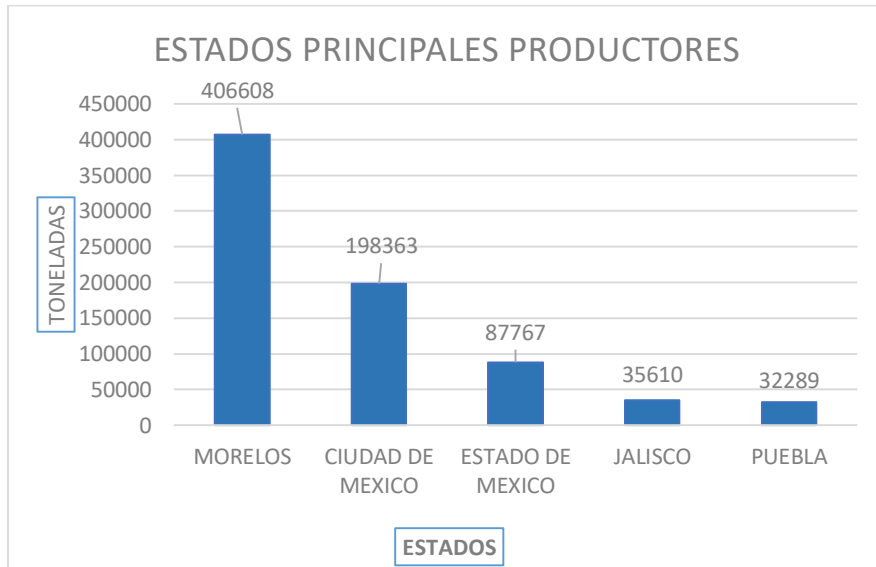
La producción de nopal en México está en aumento debido al reconocimiento de sus propiedades beneficiosas. El consumo de hortalizas es de 6.4 kg por persona, lo que representa el 5.1 % de la producción de hortalizas en el país, 12,799 hectáreas se cultivaron en 2019 y produjeron 891,821 toneladas, con un rendimiento promedio de 71 toneladas por hectárea (De Agricultura y Desarrollo Rural, S., 2020).

En México, la producción de nopal se ha dividido en nopaleras silvestres, huertos caseros y plantaciones en monocultivo. Estos métodos son los más comunes en las áreas áridas y semiáridas del país, abarcando aproximadamente 3 millones de hectáreas y casi el 50% del territorio nacional. Las nopaleras silvestres crecen de forma natural sin intervención humana significativa, mientras que los huertos de traspatio son cultivados a pequeña escala en espacios domésticos. Por otro lado, las plantaciones en monocultivo se realizan a gran escala, dedicando grandes extensiones de tierra exclusivamente al cultivo del nopal. Estos sistemas de producción han permitido que el nopal se adapte y prospere en las condiciones climáticas difíciles de estas regiones, contribuyendo significativamente a la economía y la alimentación local (Sarvia, 2004).

La producción nacional de nopal es una parte importante de la agricultura de México, claro también en la economía y la seguridad alimentaria del país. México es el principal productor mundial de nopales, y esta planta es fundamental para la cultura y la tradición culinaria del país.

2.7 Principales estados de productores de nopal.

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) informa que los nopales se encuentran en todo México, desde el norte hasta el centro, con su mayor diversidad en el Altiplano central. Cada nopalera es un entorno natural único que contiene diversas especies vegetales y animales que solo pueden existir bajo condiciones específicas. De las aproximadamente 200 especies de nopales que se conocen, 101 viven en México. De las 93 especies del grupo *Opuntia*, 62 son autóctonas del país, mientras que de las ocho especies del grupo *Nopales*, seis son autóctonas. El cultivo del nopal es importante en México y es un símbolo de la identidad nacional. Aproximadamente 12,365 hectáreas se utilizaron para cultivar 872,334 toneladas de nopales en 2022. Los principales estados productores son Morelos, con 406,608 toneladas, Ciudad de México, con 198,363 toneladas, Estado de México, con 87,767 toneladas, Jalisco, con 35,610 toneladas, y Puebla, con 32,289 toneladas (Grafica 1) (Redacción, 2023).



Grafica 1. Principales estados productores (Redacción, 2023).

2.8 VARIEDADES DE NOPAL.

2.8.1 Nopal opuntia ficus-indica.

El nopal *Opuntia ficus-indica*, conocido comúnmente como nopal tunero o nopal verdura, es una de las variedades más comunes y valoradas en México. Sus cladodios, caracterizados por ser grandes, planos, de color verde intenso y con espinas en los bordes (Figura 3), tienen múltiples aplicaciones culinarias. Son ampliamente utilizados en la preparación de salsas, nopales asados e incluso en licuados por sus propiedades nutritivas. Además de su relevancia en la gastronomía, a esta especie se le atribuyen propiedades medicinales importantes, como la regulación de los niveles de glucosa en la sangre, lo que refuerza su valor en el ámbito de la salud. Los frutos de esta planta, conocidos como tunas, destacan por su dulzura y versatilidad, ya que pueden consumirse frescos o transformarse en jugos. Desde una perspectiva agronómica, *Opuntia ficus-indica* es una planta altamente resistente que requiere mínimos cuidados, adaptándose fácilmente a condiciones

climáticas adversas. Estas características no solo la hacen una opción viable para su cultivo doméstico, sino que también favorecen su papel en la agricultura sustentable en regiones áridas y semiáridas (Greenleaf, 2024).

Los nopales, que están compuestos por raíces, cladodios, hojas, flores y frutos, tienen un sistema radicular liso, absorbente y altamente ramificado que se extiende hasta cinco metros verticalmente y diez a quince metros horizontalmente. La longitud de las raíces está influenciada por elementos ambientales como el tipo de suelo y la disponibilidad de agua. Los cladodios son tallos suculentos de forma ovoide o alargada que pesan entre 500 y 1000 gramos. Miden entre 30 y 50 cm de largo, 20-30 cm de ancho y 2-4 cm de grosor. El parénquima, que almacena agua y ácidos orgánicos, y el clorénquima, que es necesario para la fotosíntesis, están presentes. Las areolas de los cladodios pueden producir cladodios adicionales, flores o raíces (Nguyen 2024).

Desde el norte hasta el centro de México, se puede encontrar el nopal, que tiene una textura dura, un color verde y un cuerpo espinoso. Existen más de 100 especies de esta cactácea en nuestro país. Es importante destacar que ha sido consumido y utilizado desde la época prehispánica debido a sus múltiples ventajas medicinales y, por supuesto, su delicioso sabor (Cisneros, 2024).



Figura 3. Nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* (Cisneros, 2024).

Las hojas cilíndricas y caducas de los cladodios jóvenes durarán alrededor de un mes. El fruto, también conocido como higo chumbo, madura en 110-120 días. Pesa entre 80 y 200 gramos y tiene

una longitud de 5-10 cm y un ancho de 4-8 cm. La cáscara (30-40% del peso), la pulpa (60-70%) y las semillas (2-10%) (Nguyen, 2024).

2.8.2 Nopal *opuntia streptacantha*

Variedad de nopal altamente apreciada por su sabor suave y textura carnosa, características que lo hacen ideal para la preparación de diversos platillos tradicionales, como nopales salteados con cebolla y chile, o en ensaladas frescas. Más allá de sus atributos culinarios, se ha demostrado que el consumo regular de esta especie contribuye a la reducción del colesterol en sangre, lo que refuerza su importancia como alimento funcional. Desde un punto de vista agronómico, el *Opuntia streptacantha* destaca por su notable resistencia a condiciones climáticas adversas, lo que lo convierte en una opción ideal para su cultivo en zonas áridas y semiáridas. Esta capacidad de adaptación no solo respalda su papel en la seguridad alimentaria de regiones con escasez hídrica, sino que también lo posiciona como un recurso estratégico en sistemas de agricultura sustentable (Greenleaf, 2024).

Es una subespecie nueva que se encuentra naturalmente en una pequeña zona del matorral crasicuale de la altiplanicie mexicana de San Luis Potosí (Villa de Arriaga) y Jalisco (Ojuelos). Su fenología reproductora es muy tardía, florece en otoño y fructifica en invierno y tiene una gran variedad morfológica. Se caracteriza por la alta relación largo/ancho de su penca, donde probablemente deriva su nombre común, charola, por semejarse a una bandeja, el bajo número de espinos blancos por areola, su tuna rosada con un agradable sabor agridulce (Figura 4) (Scheinvar, L., & Fuentes, A. 2003).

Opuntia streptacantha. Un cactus grande que se encuentra entre 1900 y 2800 metros de altura y es nativo del este y el centro de México. Forma un arbusto o pequeño árbol de hasta 4 metros de altura con un tronco fuerte y una copa muy ramificada de tallos grandes, aplanados y espinosos. Las flores son de color amarillo o naranja. Es fácil de cultivar y resistente a la sequía severa y moderada (*Opuntia Streptacantha – Nopal Cardón, Tuna Cardona*, 2023).



Figura 4. Nopal tunero, *Opuntia Streptacantha* (Macdonald, 2024).

2.8.3 Nopal opuntia robusta

Se distingue por sus hojas en forma de paleta con espinas afiladas y diminutos pelos conocidos como gloquidios (Figura 1). La *Opuntia robusta*, al igual que la mayoría de los cactus, resiste la sequía y se adapta a entornos áridos, lo que la hace una elección frecuente para la xerojardinería y los jardines desérticos (*Opuntia Robusta* | Botanico Hub, 2019).

Esta especie de nopal es muy resistente y puede crecer incluso en suelos pobres y secos. Los nopales de esta variedad son ideales para preparar guisos, tamales o incluso mermeladas. El alto contenido de vitamina C en *Opuntia robusta* es una de sus mejores características, ya que fortalece el sistema inmunológico y ayuda a prevenir gripes y resfriados. Se ha demostrado que comer regularmente esta variedad de nopal también puede ayudar a mantener niveles saludables de glucosa en la sangre (Greenleaf. 2024).



Figura 5. Nopal *Opuntia robusta*
(Limited, 2014).

2.8.4 Nopal opuntia megacantha

Hojas muy grandes y ovaladas con espinas largas y fuertes en los bordes. Esta especie de nopal es extremadamente resistente y puede crecer en climas extremos. El alto contenido de antioxidantes de *Opuntia megacantha* es una de sus características más notables, ya que ayuda a combatir los efectos dañinos de los radicales libres en el cuerpo (Figura 2). El consumo regular de esta variedad de nopal también se ha demostrado que puede mejorar la circulación sanguínea y prevenir enfermedades cardiovasculares (Greenleaf, 2024).



Figura 6. Nopal *Opuntia megacantha*
(Admin,2024).

2.8.5 Nopal forrajero

Una variedad de cactus de la especie *Opuntia ficus-indica* que se consume principalmente por el ganado. Sus tallos, también conocidos como paletas, tienen un alto contenido de agua y son ricos en nutrientes, lo que los convierte en una opción saludable para los animales de compañía. Debido a que no requiere mucho cuidado y puede crecer sin restricciones en climas áridos, resulta bastante rentable. Debido a que casi no necesita riego, resulta muy económico y amigable con el medio ambiente (Figura 7) (Montze, 2023).



Figura 7. Nopal forrajero (Montze, 2023).

2.8.6 El nopal Xoconostle

Variedad única de nopal cultivada por su fruto ácido, que es un ingrediente esencial en la cocina tradicional mexicana y también es beneficioso para la salud. Este tipo de nopal es común en varias partes de México y es apreciado por sus beneficios nutricionales y su variedad de recetas. El nopal xoconostle, como otras variedades de nopal, tiene hojas (cladodios) y espinas en los bordes (Figura 8). Sin embargo, su principal atractivo son sus frutos. (Osorio, 2023).

El náhuatl, una lengua indígena de México, el origen del término "xoconostle", se compone: "Xoco" en náhuatl se refiere a algo ácido o agrio, mientras que "nochtli" se refiere a una tuna o fruto del nopal. Como resultado, "xoconostle" se traduce literalmente como "tuna agria" o "fruto ácido del nopal". (Juárez, 2021).



Figura 8. Nopal y Xoconostle (Juárez, 2019).

Uno de los recursos más valiosos de la flora mexicana es el nopal. En la actualidad, el nopal es uno de los recursos vegetales más cruciales para los residentes de las regiones áridas y semiáridas de México debido a sus múltiples características nutritivas, químicas, industriales, ecológicas, medicinales y simbólicas. (Conabio, 2024).

En las regiones áridas y semiáridas de México, varios factores dificultan el desarrollo de las plantas, siendo el agua el principal obstáculo. Sin embargo, otros factores como vientos fuertes, cambios bruscos de temperatura, falta de nutrientes en el suelo y la presencia de sales y sustancias tóxicas también son limitantes. La evolución de los nopales tuneros en este tipo de ambientes ha resultado en el desarrollo de características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que le permiten adaptarse a tales condiciones adversas. La reducción de sus hojas es una modificación significativa que ayuda a evitar la pérdida de agua (Conabio, 2017-2018).

2.9 ESTRÉS HIDRICO DEL NOPAL

En términos simples, el estrés hídrico se refiere a la falta de agua necesaria para que los cultivos crezcan y desarrollen a su máximo potencial. Esto puede ser el resultado de una mala gestión de los recursos hídricos, un suministro inadecuado o una escasez de lluvias. Otra explicación es que

el estrés hídrico ocurre cuando las plantas no tienen acceso al agua suficiente para satisfacer sus necesidades fisiológicas (Tecnología, 2023).

Se ha demostrado que el estrés hídrico promueve la formación de oxalatos de calcio en el nopal, por lo que la evaluación de los niveles de agua disponibles permitirá determinar el sistema cristalino de carbonato de calcio (Calcita) y oxalato de calcio utilizando mosaicos digitales de alta resolución espacial y espectral, con parámetros dicromométricos y densitométricos en tejidos vegetales (Zúñiga, Gutiérrez & García, 2024).

Un estudio afirma que la falta de agua en el nopal puede causar efectos fisiológicos inexplorados, como una disminución significativa en las concentraciones de clorofila en los cladodios de nopal de seis meses de edad cuando las plantas se someten a una sequía extrema sin riego (Aguilar & Peña, 2006).

2.10 Efecto del estrés hídrico del nopal

El estrés hídrico es crucial para el crecimiento y la productividad de las plantas, incluido el nopal, y tiene un impacto significativo en su desarrollo, especialmente durante la etapa de plántula. Este fenómeno ocurre cuando la transpiración de la planta supera la capacidad de las raíces para absorber agua. Esto suele ocurrir cuando hay poca agua en el suelo. Las plantas se adaptan al estrés hídrico reduciendo la evapotranspiración, reduciendo el potencial hídrico y cayendo las hojas para conservar agua. Estos mecanismos reducen el crecimiento en altura, el desarrollo radicular, el área foliar y la biomasa, entre otros efectos negativos del estrés (Singh & Shing, 2006).

Debido a su sistema radicular limitado, que dificulta el acceso a agua profunda, el nopal es especialmente susceptible al estrés hídrico durante la fase de plántula. Los síntomas incluyen pérdida de turgencia, marchitez y, en casos extremos, muerte de hojas o planta. El estrés hídrico reduce significativamente la evapotranspiración y el contenido de agua de la planta, lo que destaca la importancia de controlar adecuadamente este factor para mejorar la supervivencia y el crecimiento del nopal en condiciones de baja disponibilidad hídrica (Lüttge, 2007).

Además, las plantas responden al estrés hídrico cerrando las estomas para mantener el agua, lo que limita la entrada de dióxido de carbono y afecta negativamente la fotosíntesis. La inhibición de la elongación celular afecta el crecimiento y desarrollo de la planta, lo que resulta en plantas más pequeñas con menos hojas y una menor producción de flores y frutos. Las plantas desarrollan métodos como la acumulación de compuestos protectores y osmoprotectores, que ayudan a mantener la turgencia celular, para sobrevivir al estrés hídrico. Por último, pero no menos importante, la falta de agua en el suelo reduce la absorción de nutrientes, lo que debilita aún más la planta (Tecnología, 2023).

2.11 ETAPAS O DESARROLLO FENOLOGICO DEL NOPAL

2.11.1 Adaptación y crecimiento inicial

El nopal es una especie vegetal capaz de maximizar las condiciones de zonas áridas y semiáridas, ajustándose de manera óptima a sitios donde el agua es limitada (Figura 9). Para comenzar su cultivo, se plantan cladodios o esquejes, que son segmentos de la planta que, tras ser sembrado, se desarrollan y se transforman en nuevas plantas. En las primeras fases, el riego es crucial para que el nopal se desarrolle adecuadamente. Sin embargo, una vez que ha plantado raíces y se ha ajustado, muestra su reconocida habilidad para soportar extensos periodos de sequía (Stoller México, 2024).



Figura 9. Adaptación y crecimiento del nopal
(Ceja & Barrios, 2024).

2.11.2 Exposición y condiciones al suelo

El nopal es una planta increíblemente fuerte, capaz de soportar condiciones climáticas difíciles, pero se siente en su mejor momento bajo un clima cálido y seco. Es esencial la luz solar directa para que se desarrolle y crezcan al máximo (Figura 10). Eso es verdad, es crucial prevenir el encharcamiento del suelo, dado que el nopal prefiere terrenos secos y bien drenados para mantener su salud (Stoller México, 2024).



Figura 10. Exposición y condiciones al suelo del nopal
verdura (Rey, 2021).

2.11.3 Floración y polinización

Las flores del nopal son un espectáculo corto y encantador: se despliegan y se cierran en un solo día, dando vida a la planta durante un breve período de tiempo (Figura 11). Su procedimiento de polinización resulta intrigante y complicado, fusionando tanto la polinización autónoma como la polinización cruzada. Los granos de polen se desarrollan con rapidez, y sus tubos polínicos se desarrollan a un ritmo eficiente. El proceso de fecundación de los óvulos es un procedimiento lento y meticuloso, que comienza aproximadamente dos días tras la polinización y puede prolongarse hasta ocho días más (Ceja & Barrios, 2024).



Figura 11. Floración y polinización del nopal verdura (Las Partes del Nopal, 2022).

2.11.4 Desarrollo de frutos

El fruto del nopal, conocido como tuna, se recolecta en su etapa de madurez más óptima, cuando presenta un color brillante e intrigante (Figura 12). La madurez perfecta de la tuna se basa en el mercado al que se destina, y generalmente se mide por su color y brillo para confirmar su preparación para el consumo (Stoller México, 2024).



Figura 12. Desarrollo de frutos del nopal verdura (Las Partes del Nopal, 2022).

2.11.5 Cosecha de cladodios

Los cladodios del nopal se recolectan cuando son tiernos y jóvenes, usualmente cuando llegan a tener un largo de entre 15 y 20 cm (Figura 13). Estos nopales suaves y frescos se emplean en la gastronomía mexicana para elaborar sabrosos platillos como nopalitos o ensaladas, proporcionando un matiz fresco y nutritivo (Stoller México, 2024).



Figura 13. Cosecha de cladodios, (Nopal: Bondades, Propiedades y Beneficios, 2024).

2.11.5 Resistencias y usos

El nopal se distingue por su elevada capacidad de resistir plagas y enfermedades, lo que lo hace un cultivo robusto y de escaso mantenimiento (Figura 14). Además de su importancia en la dieta, el nopal desempeña un rol crucial en otras industrias: se emplea en productos cosméticos, como espesante en pinturas y como base para la cría de la cochinilla grana, un insecto que genera un preciado pigmento natural (Stoller México, 2024).



Figura 14. Resistencia y usos del nopal verdura (Pamela.Herrera, 2021).

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización donde se llevó a cabo el experimento

Este proyecto se desarrolló en un terreno de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado en Buenavista, Saltillo, Coahuila, con las coordenadas geográficas 25°21'00"N y 101°02'00"W. El área destinada al proyecto abarca un total de 200 metros cuadrados (figura 15). Esta ubicación proporcionó las condiciones adecuadas para llevar a cabo el estudio y las actividades relacionadas con el cultivo de nopales.



Figura 15. Localización geográfica del experimento (earth.google.com, 2024).

3.2 Materiales y equipo

En este proyecto se emplearon diversas herramientas y equipo las cuales son:

Palas, picos, guantes, cajas, navaja, tractor con implementos como rastra y arado, cintas para riego, válvulas, tubos PVC, codos de unión para tubos, taladros, tensiómetro, medidor de humedad de suelo, detector NDVI, medidor de temperatura de suelo, medidor de temperatura de plantas.

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Extracción de nopal.

El procedimiento de plantación del nopal se inicia con la elección de los cladodios o pencas, los cuales funcionarán como el material vegetal fundamental. Los cladodios necesitan poseer las siguientes particularidades:

- Tener una salud óptima y estar exentos de plagas o enfermedades visibles.

- Tener una edad que oscile entre 6 y 12 meses, garantizando así un correcto grado de madurez.
- Es importante tener un tamaño medio, dado que los cladodios demasiado grandes pueden enfrentar problemas para enraizar.

Después de ser escogidos, los cladodios se cortan meticulosamente de la planta madre con utensilios limpios para prevenir contagios.

Nos trasladamos a un rancho, general cepeda, donde hubo la facilidad de extraer 300 nopales verduras con ayuda de compañeros involucrados para la extracción de nopal, se arrancaron de la siguiente manera. Con un pico, pala oh barretas se arrancaron desde la raíz tomando en cuenta que los nopales no tuvieran plagas, de igual manera asegurarse que el nopal tenga 2 nopales de cada extremo “orejitas” como en su momento lo nombramos, el predio, en rancho, el pilar, Municipio de General Cepeda, Coahuila. El tiempo que nos llevó extraer los nopales duro de 4 a 5 horas, nuestra extracción fue satisfactoria, por ende, continuamos a cargar la camioneta de nopales, con sus respectivos guantes asegurándonos no pincharnos ni llenarnos de ahuate. Al haber realizado dicha labor nos regresamos a la universidad donde se prosiguió a descargar los nopales de manera cuidadosa.

3.3.2 Preparación del Terreno

El suelo desempeña un rol esencial en el cultivo del nopal. Se aconseja realizar los pasos siguientes:

- Selección del sitio: La zona necesita una adecuada exposición al sol y estar resguardada de inundaciones o lluvias (Figura 16).
- Limpieza: Eliminación vegetación, rocas y desechos orgánicos para disminuir la competencia y promover el desarrollo del nopal.
- Labranza: A pesar de que el nopal puede desarrollarse en terrenos de escasa calidad, un suelo levemente removido y aireado favorece el crecimiento de las raíces.

Es fundamental preparar el suelo antes de plantar los nopales. El suelo debe estar bien drenado para evitar el encharcamiento y para garantizar un crecimiento saludable de las raíces.

Se preparó el terreno mediante un rastreo, tractor con el implementó “discos” para revolver el suelo (Figura 17) y por ende poder plantar los nopales.



Figura 16. Selección de sitio, (Fotografía, 2024).



Figura 17. Rastreo (Fotografía, 2024).

Como es bien conocido, el terreno suele compactarse debido al peso de los tractores y otros equipos de gran peso, lo que dificulta considerablemente las labores agrícolas. El subsolador brinda la posibilidad de aflojar el suelo a una profundidad precisa y obtener acceso a tierra más productiva (Figura 18), (Figura 19).



Figura 18. Vista trasera
(Figura, 2024).

Figura 19. Subsolador vista lateral
(figura, 2024).

El uso de un tractor con arado especializado y dirección automática facilita la creación de surcos en el terreno agrícola con alta precisión (Figura 20). Estos surcos, esenciales para el cultivo del nopal, permiten una adecuada delimitación de las áreas de siembra, mejorando la distribución del agua y el drenaje del suelo.

El sistema de dirección automática utiliza tecnología GPS y sensores para orientar al tractor de forma automático o semiautomático, garantizando que los surcos conserven un espaciamiento uniforme y estén correctamente alineados, permitiendo preparar el terreno de manera más rápida y precisa, maximizando la eficiencia agrícola y mejorando las condiciones de siembra (Figura 21). No solo minimiza la posibilidad de equivocaciones humanas, sino que también mejora la utilización del suelo y asegura que los surcos sean paralelos, previniendo desplazamientos o anomalías que podrían influir en la distribución de la humedad o el crecimiento de las plantas (Agro, 2024).

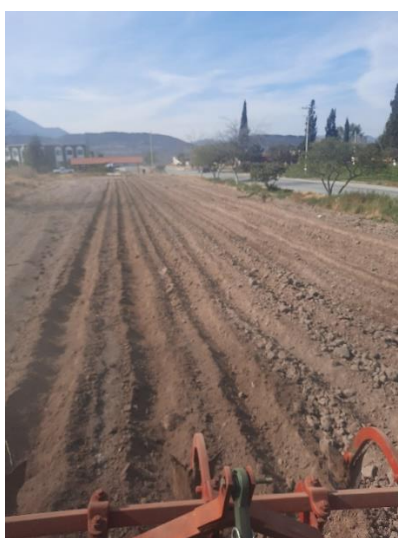


Figura 20. surco con arado
(fotografía ,2024).



Figura 21. Sistema de dirección
automática (fotografía ,2024)

Es esencial establecer la curva de humedad del terreno, mediante un tensiómetro (Figura 22), (Grafica 2), antes de sembrar nopales para valorar su habilidad para retener agua y establecer el nivel de humedad ideal requerido (Figura 23), para la instalación del cultivo (Tabla 4). Este análisis permite identificar cuándo y cuánto regar para evitar tanto el exceso como la escasez de agua, lo que contribuye a un mejor desarrollo de las raíces, un crecimiento uniforme y un uso eficiente de los recursos hídricos.



Figura 23. Tensiómetro (fotografía ,2024).



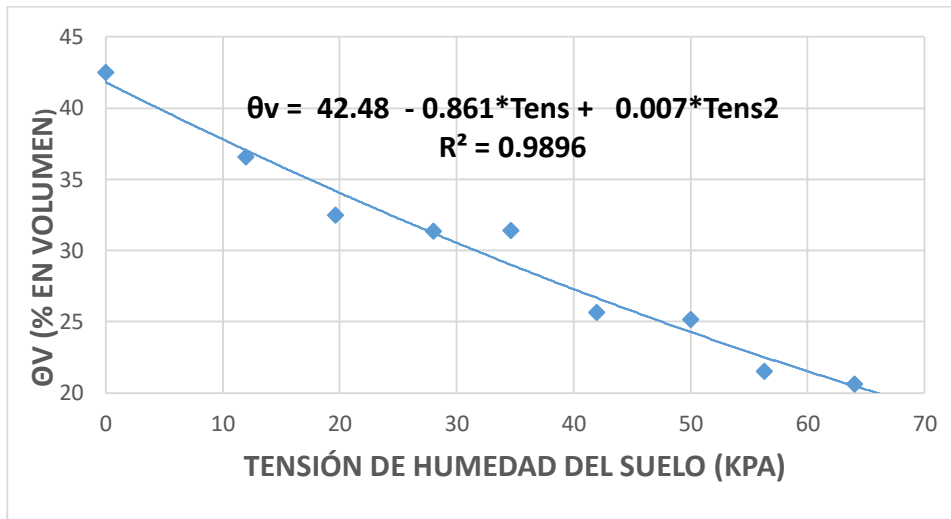
Figura 22. Medidor de humedad de suelo, (fotografía ,2024).

Tabla 4. Determinación de la curva de humedad 2024.

Iniciales (5/03/24)	T1	VWC%	T2	VWC%	T3	VWC%	T4	VWC%	T5	VWC%
06/03/2024	2/45.9		0/45.9		2/48.5		10/48.5		0/48.5	
07/03/2024										
08/03/2024	13	36.5	12.00	37.00	11	36.2	20	36.8	15	37.1
09/03/2024	20	33.4	20	29.8	19	32	28	34.5	22	32.1
10/03/2024	29	32.6	28	30.4	27	25.7	35	30.4	30	34.5
11/03/2024	37	33.3	35	30.1	34	31.8	43	31.2	35	31.8
12/03/2024	42	26.2	42	27.3	41	23.4	50	28.2	41	23.5
13/03/2024	50	24.8	51	25.7	49	24.9	64	25.3	50	25
14/03/2024	57	21.2	56	21.3	56	22	63	22.1	58	23
15/03/2024	65	20.4	63	21	64	20.4	70	21	65	22.6

16/03/2024	67	19.5	66	20.1	66	19.5	73	20.1	70	19.1
17/03/2024	71	19.8	70	19	70	20	83	19.5	74	19.8

Tensión	θ_v
0	42.5
12.0	36.6
19.7	32.5
28.0	31.3
34.7	31.4
42.0	25.6
50.0	25.1
56.3	21.5
64.0	20.6
66.3	19.9
70.3	19.6



Grafica 2. Tensión de humedad de suelo 2024.

El análisis de suelo es un procedimiento esencial antes de sembrar nopal, ya que proporciona información detallada sobre las características químicas, físicas y biológicas del terreno. Textura del suelo: Determina la proporción de arena, limo y arcilla, lo que influye en la retención de agua y la aireación, aspectos clave para el desarrollo del nopal. pH: Mide el nivel de acidez o alcalinidad del suelo, asegurando que sea adecuado para el crecimiento óptimo del nopal, que prefiere un pH entre 6.0 y 7.5. Contenido de nutrientes: Analiza los niveles de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como micronutrientes esenciales, para determinar si es necesario enriquecer el suelo con fertilizantes. Materia orgánica: Evalúa el contenido de material orgánico, fundamental para la fertilidad del suelo y el suministro de nutrientes a las plantas. Capacidad de retención de agua: Determina la habilidad del suelo para retener y drenar el agua, importante para evitar problemas de encharcamiento o estrés hídrico (Mendoza, 2019).

Para presentar los resultados del análisis del suelo, se incluye una imagen que posiciona las características del terreno estudiado dentro del triángulo de textura del suelo (Figura 24). Este gráfico identifica la textura específica del suelo al relacionar las proporciones de arena, limo y arcilla. El punto señalado en la figura refleja la clasificación del suelo del área de estudio, destacando si pertenece a categorías como franco, arcilloso o arenoso. Esta información es crucial para entender propiedades importantes del suelo, como su capacidad de retención de agua y drenaje, además de su aptitud para el cultivo de nopales. Facilita la interpretación de los datos y respalda las decisiones relacionadas con el manejo del terreno.



Muestra	M1	Clasificación
Arena %	42	<p>Textura: Franco arcilloso</p>
Limo %	28	
Arcilla %	30	
Carbón Orgánico %	1.09	-
Materia Orgánica %	1.88	Mediano
Nitrógeno total %	2.77	-
pH _{2:1}	7.81± 0.05	Alcalinidad Media
Conductividad eléctrica 2:1 (µs/cm)	1134± 30.73	No salino
Conductividad eléctrica Extracto (µs/cm)	2150.6 ± 10.91	
Densidad aparente (g/cm ³)	0.96	-
Densidad real (g/cm ³)	1.82	-
Espacio poroso %	47	-

Figura 24. Textura del suelo (fotografía, 2024).

3.3.3 Plantación de nopales

El procedimiento de plantación comprende los pasos técnicos siguientes:

- Agujeros para el cultivo: Se abre una abertura con una profundidad de entre 10 y 15 cm para colocar el cladodio (Figura 25).
- Colocación del cladodio: La base del cladodio se entierra de forma vertical, garantizando que no quede excesivamente enterrada para prevenir la pudrición (Figura 26).
- Espaciado: La distancia entre las plantas, es de 0.30 metros y separación entre surcos es de 1 metro.

Con ayuda de compañeros, amigos y mi asesor explicando la forma de cómo deben ir plantadas los nopales se llevó a cabo, teniendo consigo ya el plano de como estarían dispersados los tratamientos que son: 3 tratamientos con 5 repeticiones en cada una hilera con 5 nopales cada una, y un testigo (Figura, 27).



Figura 26. Agujeros para el cultivo (fotografía, 2024).



Figura 25. Colocación del cladodio (fotografía, 2024).

3.3.4 Instalación de sistema de riego

Viendo la problemática del agua para el proceso de regado, se recurrió a un profesor experimentado que con su ayuda y asesoramiento, indicó los materiales, herramientas la cual se necesitarían para la instalación de sistema de riego (Figura 27). Primeramente, con un pico y pala se hicieron aberturas, zanjas para poder introducir y enterrar los tubos para que solo estén las cintas a costados del nopal verdura. Tomando en cuenta la propuesta de establecimiento de experimento para el sistema de riego. Ya teniendo los materiales se procedió a la instalación del sistema de riego.



Figura 27. Propuesta de sistema de riego (fotografía ,2024).

Posterior mente se prosiguió a colocar las cintillas de la misma medida que las filas de los nopales, al haber quedado bien instalado y funcional, se taparon los tubos con la misma tierra que salió al hacer las zanjas (Figura 28), (Figura 29).



Figura 28. Instalación (Fotografía ,2024).



Figura 29. Cintilla (Fotografía ,2024).

3.3.5 Delimitación de surcos para evitar traslape de humedad

Práctica fundamental en la preparación del terreno para el cultivo, especialmente en sistemas de riego. Este proceso consiste en trazar surcos bien definidos y uniformes para garantizar una distribución eficiente del agua en el suelo, evitando traslapes de humedad entre surcos contiguos así puede regarse uniformemente cada planta (Figura 30), (Figura 31).



Figura 30. Surcos bien definidos (fotografía, 2024).



Figura 31. Distribución eficiente (fotografía, 2024).

3.3.6 Señalamiento de tratamiento e inicio de riego

Implica identificar las áreas del cultivo que requieren atención específica, para determinar el momento adecuado para comenzar el riego (Figura 32). El proceso se basa en la evaluación del estado del suelo, las condiciones climáticas y el ciclo de crecimiento de los nopales, garantizando que el riego se inicie en el momento más efectivo para promover su desarrollo y optimizar los recursos hídricos (Figura 33). Esto ayuda a mejorar la eficiencia del uso del agua y promover una mayor productividad del cultivo (Tabla 5).



Figura 30 Señalamiento, (fotografía, 2024).



Figura 29. Riego (fotografía, 2024).

3.3.7 Volumen de riego por tratamiento

Caso 1: Profundidad 0.1m.

2.1 m de largo de surco; 0.3 m de ancho del surco; 0.1 m de profundidad.

Volumen: $0.063m^3$.

Volumen: 63 litros.

Porosidad de suelo: 47%

Volumen de agua para saturación: $(63*0.47) = 29.61$ litros.

Caso 2: Profundidad 0.3m.

m de largo de surco; 0.3 m de ancho del surco; 0.3 m de profundidad.

Volumen: $0.189 m^3$.

Volumen: 189 litros.

Porosidad de suelo: 47%

Volumen de agua para saturación: $(189 \times 0.47) = 88.83$ litros.

Tabla 5. Gastos de la cintilla 1 L/h por gasto.

Tensión Kpa	%VWC	Volumen de agua disponible (L) a 0.1 m profundidad	Litros/riegos para regresar a saturación	Tiempo de riego en minutos	Volumen de agua disponible (L) a 0.3 m profundidad	Litros/riego para regresar a saturación	Tiempo de riego en minutos
0 (saturación)	42.5	29.61			88.83		
30	31.3	19.53	10.18	30.54	27.8	61	183
45	25.1	15.35	14.38	43.14	22.29	66.54	199.6
70	16.1	10.08	19.63	58.89	14.3	74.53	223.5

La "tensión" hace referencia a la fuerza que el suelo ejerce sobre el agua para retenerla, y el "vwc" indica el porcentaje de agua presente en el suelo en relación con el volumen total del mismo. Los resultados muestran cómo cambia el contenido de agua en el suelo a medida que aumenta la tensión, lo que indica cómo el suelo va reteniendo el agua más fuertemente a medida que se seca:

- A 0 kpa (sin presión, lo que significa que el agua está libre en el suelo), el contenido de agua es del 42.5%.
- A 30 kpa, la tensión aumenta, lo que reduce el agua disponible en el suelo a 31.3%.
- A 45 kpa, la retención de agua es aún mayor, con un 25.1% de agua disponible.
- A 70 kpa, el suelo retiene aún más el agua, y el contenido de agua baja a 16.%.

Y a medida que aumenta la tensión (el suelo se va secando y requiere más energía para liberar el agua), el porcentaje de agua disponible en el suelo disminuye.

El tratamiento T era el control absoluto el cual se regaba cada diez días independientemente del % de humedad. El análisis estadístico de los datos se realizó por medio de un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el programa estadístico Infostat V2020.

Tabla 6. Descripción de tratamiento, 2024.

Tratamiento	% de humedad
T	-----
T1	31.67%
T2	27.05%
T3	19.37%

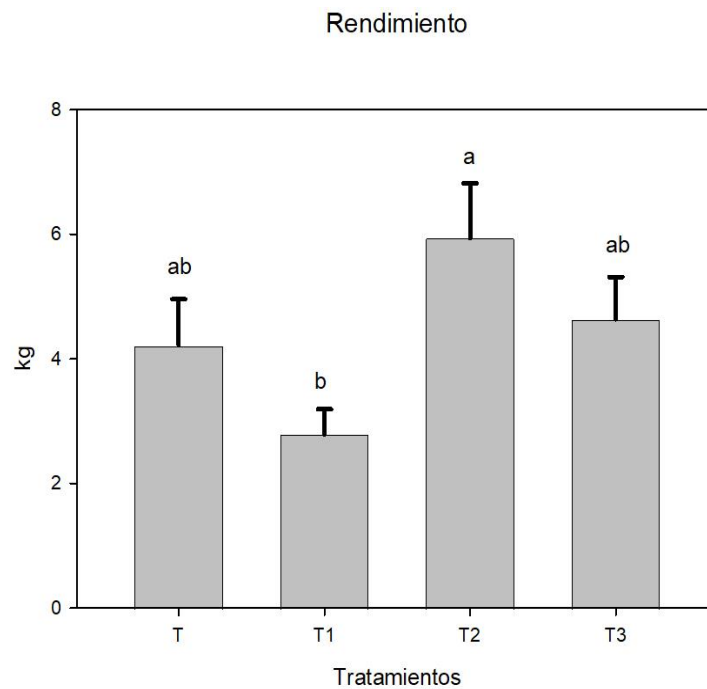
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis estadístico se desprenden los siguientes resultados, las variables de %VWC, temperatura del nopal, temperatura del nopal verdura, temperatura del suelo y NDVI no tienen diferencia estadística en cuanto a los tratamientos. (Tabla 7). En cuanto al rendimiento, existe diferencia estadística entre los tratamientos. El rendimiento en los tratamientos T3 y T son iguales estadísticamente. Los tratamientos T1 y T2 son diferentes estadísticamente, siendo T2 el de mayor rendimiento. El mayor rendimiento entre los tratamientos se obtuvo con el tratamiento T2 (Grafica 3).

Comparación de medias de las variables evaluadas en el análisis de varianza (Tabla 7), en parámetros referentes al impacto de los tratamientos aplicados en el cultivo de nopal. Literales diferentes en cada fila indican una diferencia significativa Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 7. Comparación de medias, 2024.

Tratamiento	Rendimiento	VWC%	T. nopal	T. verdura	T. suelo	NDVI
T	4.22±0.73 ab	29.82±1.41 a	46.89±9.64 a	33.05±1.31 a	23.74±0.73 a	0.53±0.02 a
T1	2.79±0.39 b	27.79±1.45 a	38.09±0.61 a	40.02±7.18 a	23.93±0.73 a	0.51±0.03 a
T2	5.94±0.87 a	27.5±1.45 a	38.67±0.7 a	33.47±1.06 a	24.44±0.89 a	0.52±0.03 a
T3	4.63±0.67 ab	26.98±1.39 a	38.36±0.94 a	33.82±0.83 a	24.82±1.74 a	0.51±0.02 a



Grafica 3. Comportamiento del rendimiento en nopal sometidas a diferentes niveles de estrés hídrico. 2024.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se utiliza para monitorear la dinámica de la vegetación y el rendimiento del cultivo, en este caso sometido a estrés hídrico, fue igual en todos los tratamientos, esto demuestra que a pesar de que el nopal está siendo sometido a diferentes regímenes de riego se está desarrollando de la misma forma, al respecto Zañudo-Hernández et al., (2010) reportan que tanto *O. ficus indica* y *O. robusta* para evitar la sequía producen plasticidad fotosintética, asimilan mayor cantidad de CO₂ a través de la expresión de la fase CAM en la actividad fotosintética lo que le permite una adaptación a las condiciones ambientales. En cuanto al rendimiento observamos que el rendimiento con el tratamiento T2 fue mayor, en cuanto a esto Najafinezhad et al., (2024) observaron que en cuanto a mayor estrés el cultivo obtuvo menor rendimiento húmedo y seco a pesar de la fisiología de este, el rendimiento también dependerá del tiempo de establecimiento del cultivo, en el trabajo de Najafinezhad et al., (2022) se evaluó el rendimiento seco y fresco con periodos diferentes periodos de riego, en el primer y segundo años los mejores rendimientos fueron a los 14 días mientras que al año tercero el mejor rendimiento se obtuvo al día 16 de riego. El nopal tiene distintos mecanismos que le permiten adaptarse al estrés hídrico entre ellos Barrientos-Sanhuez et al., (2023) demostraron que alteran las características hidráulicas y mecánicas de las raíces finas durante sequías severa volviéndolas más elásticas lo que permite que las células modifiquen su forma y eviten daños permanentes

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al rendimiento observamos que el rendimiento con el tratamiento T2 fue mayor, lo que indica que el factor de riego, para este caso no fue determinante en el rendimiento, ya que los tratamientos 1 y el testigo tuvieron mejor condición de humedad. Respecto a los parámetros de temperatura del suelo, de la planta madre, temperatura del nopal verdura y el NDVI, no tienen un impacto en el rendimiento de la producción.

Se recomienda realizar un experimento en las mismas condiciones o en el siguiente ciclo, y buscar los factores agrícolas, ambientales o químicos que provocaron esta diferencia en los rendimientos

6 BIBLIOGRAFÍA

- Aduanera**, E. (2021, 26 enero). Nopal mexicano conquista nuevos mercados - Estrategia Aduanera. Estrategia Aduanera. <https://www.estrategiaaduanera.mx/nopal-mexicano-conquista-nuevos-mercados/> consultada 30 /07/2024
- Agro**. (2018). Sistemas de guiado para maquinarias agrícolas mediante GPS. <https://agrounlu2014.blogspot.com/2014/03/sistemas-de-guiado-para-maquinarias.html>
- Aguilar-Becerril**, G., & Peña-Valdivia, C. B. (2006). ALTERACIONES FISIOLÓGICAS PROVOCADAS POR SEQUÍA EN NOPAL (*Opuntia ficus-indica*). Revista Fitotecnia Mexicana, 29(3), 231. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.3.231> consultada 22/06/2024
<https://doi.org/10.35196/rfm.2006.3.231>
- Alimentos vegetales Hum Nutr** 61, 115–119 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0008-6>
- Admin**. (2016). Tuna | Island Herbs & Spices. Island Herbs & Spices. <https://www.islandherbsandspices.com/tag/tuna/>
- Bastida Cañada**, O. A. (2023, 14 diciembre). Estadísticas de producción de nopalitos en México. Blog Agricultura. <https://blogagricultura.com/estadisticas-nopalitos-mexico/>
- Betancourt-domínguez**, m.a., hernández-pérez, t., garcía-saucedo, p. et al. Cambios físico-químicos en cladodios (nopalitos) de cactus cultivados y silvestres
- Ben Salem**, H.; Nefzaoui, A.; Abdouli, H. and Orskov, E. 1996. The effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var-*intermis*) on intake and digestion by sheep given straw based diet. *Animal Sci.* 62:293-299
- Blanco-Macías**, F.; R. D. Valdez-Cepeda; M. Reveles-Hernández y S. Méndez- Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. (2016). <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3079/5755>
- Ceja, P. R., & Barrios**, E. P. (2024). POLINIZACION Y FASE PROGAMICA EN NOPAL *Opuntia ficus-indica* (L) Miller) TUNERO. Revista Fitotecnia Mexicana, 8(8), 164. <https://doi.org/10.35196/rfm.1986.8.164>

- Cisneros, S.** (2024, 30 julio). Nopal, beneficios y características - México Desconocido. México Desconocido. <https://www.mexicodesconocido.com.mx/nopal-beneficios-y-caracteristicas.html> consultada 04 /08/2024
- Coello, L.** (2023, 11 julio). Las magníficas propiedades del nopal para la salud. Infobae. <https://www.infobae.com/mexico/2023/07/11/las-magnificas-propiedades-del-nopal-para-la-salud/> consultada 09/06/2024
- Conabio.** (2011). Nopales | Biodiversidad mexicana. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/nopales> consultada 09/06/2024
- Conabio.** (2011). Qué nos aportan los nopales | Biodiversidad Mexicana. Biodiversidad Mexicana. https://biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_nopales consultada 09/06/2024
- De Agricultura y Desarrollo Rural, S.** (2020). Crece en México el consumo y producción de nopal: Agricultura. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-en-mexico-el-consumo-y-produccion-de-nopal-agricultura> consultada 09/06/2024
- De Agricultura y Desarrollo Rural, S.** (2019). El nopal, parte de la riqueza del campo mexicano. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-nopal-parte-de-la-riqueza-del-campo-mexicano> consultada 29 /07/2024
- De México, R. A. C.** (2023). El cultivo de nopal verdura en la Ciudad de México. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/articulos/el-cultivo-de-nopal-verdura-en-la-ciudad-de-mexico?idiom=es>
- Frati-Munari, A., Vera Lastras, O. y Ariza Andraca, C.R.** 1992. Evaluación de cápsulas de nopal en Diabetes Mellitus. Gaceta Médica de México. 128 (4): 431-436
- Gallegos.** 2012. Usos y aprovechamiento del nopal. pp. 23-35. En: Blanco-
- Greenleaf.** (2024, 15 mayo). Tipos de nopal: características y variedades. Green Leaf Insumos. https://greenleafinsumos.com.ar/2024/05/15/tipos-de-nopal-caracteristicas-y-variedades/#Nopal_Opuntia_ficus-indica consultada 12 /06/2024
- Ha, Q. T., Nguyen, K. K., Le, A. N., Vu, H. T., & Nguyen, T. N.** (2024). Opuntia ficus-indica (L.): An Overview of the Recent Application and Opportunities in Food. Tropical Journal of Natural Product Research, 8(1). [Opuntia-ficus-indica-L-An-Overview-of-the-Recent-Application-and-Opportunities-in-Food.pdf \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/381111111)

http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/vinculategica_5_2/A.48 Alternativas de producción del nopal en el Estado de México.pdf

Infoagro, R. (2020, 3 diciembre). Crece en Mexico el consumo y produccion de nopal. Infoagro Noticias.

https://www.infoagro.com/noticias/2020/crece_en_mexico_el_consumo_y_produccion_de_nopal.asp

J, L. J. (2021, 22 abril). Nopales tunas y xoconostles. Parte de la identidad mexicana | El Souvenir. El Souvenir. <https://elsouvenir.com/nopales-tunas-xoconostles-mexicanos/>

Las partes del nopal. (2022b, abril 12). Arqueología Mexicana. <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/las-partes-del-nopal>

Leal, K., & Leal, K. (2024, 14 marzo). 8 beneficios del nopal, para qué sirve y cómo consumirlo. Tua Saúde. <https://www.tuasaude.com/es/nopal/> consultada 09/06/2024

Leash, S. (2024a, mayo 22). Best National Parks to Visit in the Spring. Harvest Hosts. <https://www.harvesthosts.com/blog/spring-national-parks>

Limited, A. (2014). Opuntia robusta, the wheel cactus, nopal tapon, or camuesa. Alamy Images. <https://www.alamy.com/opuntia-robusta-the-wheel-cactus-nopal-tapon-or-camuesa-image471911834.html> 04 /08/2024

Lüttge, U. E. 2007. Physiological ecology of tropical plants. Springer. Berlin.

Macdonald, K. (s. f.-b). Opuntia streptacantha. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/33909421@N03/7525748180/in/photostream/> consultada 04 /08/2024

Macías, F.; M. Reveles-Hernández; R. E. Vázquez-Alvarado y J. A. Santos-Haliscak. (Editores). Memoria del X Simposium-Taller Nacional y V Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey'.Escobedo, N.L. México. 79 p.

Mendoza, Y. (2019, 28 febrero). Análisis de suelos: Qué Es, Importancia, Tipos, Métodos Y Cómo Hacerlo. Agronomía. <https://deagronomia.com/agronomia/analisis-de-suelos/>

Millán, H., y Pérez, R. (2021). Desigualdad social y pobreza en el Estado de México: ¿convergencia o divergencia? Economía y Sociedad, 14(21), 17-39.

- Montze.** (2023, 26 septiembre). ▷ Las variedades de Nopales: conoce un poco más sobre ellas. DE NOPAL. <https://denopal.net/variedad-en-el-mundo/> Nopal: bondades, propiedades y beneficios. Inkanatural. <https://www.inkanatural.com/es/arti.asp?ref=nopal-blog>
- Opuntia robusta – Nopal tapon.** (2019). <https://www.rarepalmseeds.com/es/opuntia-robusta-es?search=Nopal%20Opuntia%20robusta>
- Opuntia robusta | Botanico Hub.** (2019). <https://www.botanicohub.com/plant-species/opuntia-robusta>
- Opuntia streptacantha – Nopal Cardón, tuna cardona.** (2024). <https://www.rarepalmseeds.com/es/opuntia-streptacantha-es> consultada 04 /08/2024
- Osorio, U. R.** (2023, 20 marzo). Tipos de nopal y sus características. [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com). https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-nopal-y-sus-caracteristicas-4346.html#anchor_0
- Pamela Herrera.** (2021, 1 octubre). ¿Qué es en realidad el nopal? (fruta o verdura). CocinaDelirante. <https://www.cocinadelirante.com/hogar/que-es-en-realidad-el-nopal-fruta-o-verdura>
- [Pantanal Editora \(editorapantanal.com.br\)](http://www.editorapantanal.com.br)
- Peña-Valdivia, C. B., C. Trejo L, V. B. Arroyo-Peña, A. Sánchez U., and R. Balois M.** 2012. Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200047>
- Pimienta, B. E.** (1990). El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. México. 246 p.
- Redacción.** (2023, 18 septiembre). Morelos, uno de los principales productores de nopal - Greentology. Greentology. <https://greentology.life/2023/09/18/morelos-uno-de-los-principales-productores-de-nopal/> 09/06/2024
- Precipitación. (s. f.-b). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/precipitacion-form>
- Rey, P.** (2021, 13 mayo). Piel de nopal: el cuero vegetal es el material sustentable en boga. Vogue. <https://www.vogue.mx/sustentabilidad/articulo/piel-de-nopal-porque-el-cuero-vegetal-es-el-material-sustentable-en-boga>
- Rodríguez-Félix A** (1986) Cambios químicos y fisiológicos durante el desarrollo de cladodios (nopalitos) de 3 especies de *Opuntia*. Hermosillo, México: Centro de Investigación y Desarrollo de Alimentos, Tesis de Maestría, 83 pp. <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/585>.

- Rodríguez-Félix, A.**, y Soto-Valdez, H. 1992. Quality changes of diced nopal during storage in polyethylene bags. pp. 22-25. In: Felker, P y Moss, J, eds. 3rd. Annual Texas Prickly Pear Council Convention Proceedings. Kingsville, Texas. Estados Unidos de América.
- Sabor, H. Y.** (2019). Xoconostle, fruto del nopal. Historia y Sabor. <https://www.historiaysabor.mx/2019/03/xoconostle-fruto-del-nopal.html>
- Sáenz, C.** 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp. p. 211-222. In: Esparza, G., Valdez, R. y Méndez, S. eds. El Nopal, Tópicos de actualidad. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Sánchez, D. F.**, Reyes-Terrazas, A. S., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A., & Almaguer-Vargas, G. (2023c). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14(2), 211-222. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- Sandoval Trujillo, S. J.**, Ramírez Cortés, V., & Hernández Bonilla, B. E. (2019). Alternativas de producción del nopal en el Estado de México. VinculaTégia, 53(9), 1349–1361.
- Santillán, T.** (2022, 25 noviembre). El potencial del nopal en la cosmética te impactará. ELLE. <https://elle.mx/belleza/2022/11/24/potencial-nopal-cosmetica-impactara> [consultada 09/06/2024](#)
- Saravia, T. P. L.** (2004). Programa fundamental para el desarrollo económico del Estado de México hacia el 2005 y de competitividad visión 2020. Cluster Nopal. Tecnológico de Monterrey, México. [Pantanal Editora \(editorapantanal.com.br\)](http://editorapantanal.com.br)
- Scheinvar, L.**, & Fuentes, A. R. (2003). Nueva subespecie de Opuntia streptacantha (Cactaceae) de la altiplanicie mexicana. Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica, 74(2), 303-311.
- SIAP.** Servicio de Información Agroalimentariay Pesquera. 2011. Nopalitos. Secretaria de Agricultura. Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. (En línea). Disponible en <http://www.siap.gob.mx> (Revisado 13/08/2024).
- Singh, B.** and G. Singh. 2006. Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in Dalbergia sissoo seedlings. Environ. Exp. Bot. 55: 209-219.
- Stintzing, F.C.** and R. Carle (2005). Cactus stems (Opuntia spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. Molecular Nutrition and Food Research 49. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400071>

- Stoller** Mexico. (2024, 12 enero). Nopal - Stoller. Stoller. <https://stollermexico.com/nopal/#:~:text=El%20riego%20es%20crucial,la%20sequ%C3%ADa%20una%20vez>
- Tecnología**, P. (2023, 7 noviembre). ¿Qué es el estrés hídrico y cómo afecta a los cultivos? ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/que-es-el-estres-hidrico-y-como-afecta-a-los-cultivos>
- TRIDGE**. (2009-2023). Nopal Cactus global imports and top importers 2024. Tridge. <https://www.tridge.com/intelligences/nopal-cactus/import#:~:text=United%20States>
consultada 30 /07/2024
- Vista de Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba** | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. (2023). <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3079/5757>
- Zúñiga-Valenzuela**, R., Gutiérrez-Castorena, E. V., Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Zúñiga-Valenzuela, E., & García-Carrillo, E. M. (2024). Formación de oxalatos y carbonatos cálcicos por estrés hídrico en nopalitos. Revista de la Asociación Profesional para el Desarrollo del Cactus, 26.