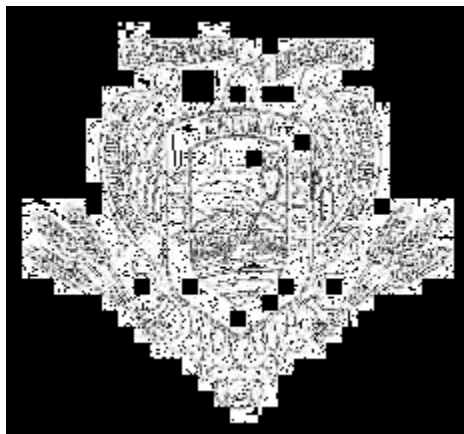


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS**



**Diseño y evaluación de un invernadero tipo Walipini destinado a la
producción de hortalizas, para su implementación en comunidades
rurales de zonas semiáridas**

Por:

LUIS GAEL AVILA CURIEL

TESIS

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN DESARROLLO RURAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS

Diseño y evaluación de un invernadero tipo Walipini destinado a la
producción de hortalizas, para su implementación en comunidades
rurales de zonas semiáridas

POR:

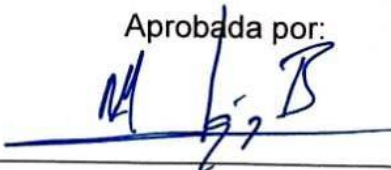
LUIS GAEL AVILA CURIEL

TIPO DE TRABAJO

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN DESARROLLO RURAL

Aprobada por:



Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa

Asesor Principal



M.C Selene Yáñez Martínez

Coasesora



Lic. Norma Eugenia Sánchez García

Coasesora



Lic. Norma Eugenia Sánchez García

Coordinadora de la División de Ciencias Socioeconómicas



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio 2026

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, 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, graficas, 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 las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Luis Gael Avila Curiel

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Agradezco a dios por permitirme llegar hasta este momento y a ayudarme a cumplir una de mis metas más importantes. Gracias por darme salud, fuerza y sabiduría durante todo este proceso universitario y por acompañarme siempre en cada una de las dificultades q se presentaron durante este trayecto.

Al Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa

Le agradezco por el tiempo, dedicación y el apoyo que me brindo durante esta etapa de mi vida. Gracias por compartir conmigo sus conocimientos, por su paciencia y por siempre motivarme a seguir aprendiendo y mejorar cada día.

A la maestra Selene Yáñez Martínez

Gracias por sus consejos, paciencia, por motivarme a salir adelante. Además, le agradezco por una bonita amistad que me brindo y por ayudarme a aprender cosas importantes para la formación de mi vida profesional.

A don Gabriel Valenzuela Pérez

Gracias por todo el apoyo, la paciencia y las enseñanzas brindadas en el área de prácticas. Agradezco mucho su buena actitud, disposición para ayudarnos y por compartir sus conocimientos conmigo.

A mis amigos

Gracias a mis amigos y a compañeros: Francisco Gámez Mercado, Alexis Benjamín Flores Carrera, Josué Ortiz López, Jaime García Tejeda y José Aguirre Cruz, por acompañarme durante esta etapa universitaria. Gracias por esos momentos compartidos, las risas y por las palabras de motivación en los momentos más difíciles. Me llevo grandes recuerdos con ustedes.

DEDICATORIAS

A mis padres

Con mucho amor y cariño dedico este logro a mis padres Andrés Avila Curiel y Maria Cristina Curiel Curiel, quienes han sido el apoyo más grande en mi vida. Gracias por todos sus sacrificios, por trabajar duro día con día para darme la oportunidad de estudiar y por estar conmigo en cada momento, bueno y malo. Gracias por sus consejos, por sus regaños, por motivarme a nunca rendirme y por creer en mi a pesar de que varias veces mi situación se complicaba en diferentes aspectos.

Todo lo que he logrado es gracias a ustedes, y puedo decir que este triunfo es de ustedes. Espero hacerlos sentir orgullosos siempre.

A mis hermanos

Dedico este logro a mis hermanos Miguel Ángel Avila Curiel y Nayeli Deysi Avila Curiel, por acompañarme y apoyarme en esta etapa de mi vida. Gracias por sus consejos, regaños, palabras de ánimo, y por estar conmigo en los momentos más difíciles.

A mis abuelos paternos: Miguel Avila (+) y Maximina Curiel (+)

Gracias por todos los consejos y valores que me inculcaron desde niño, por los buenos momentos vividos y por siempre apoyarme en lo que necesitaba.

A mis abuelos maternos

Con mucho cariño, dedico este logro a mis abuelos: Juan Sabino Curiel Ortiz y Reynalda Curiel López. Gracias por el apoyo que me han brindado, por los consejos, por sus oraciones, por preocuparse siempre por mí, y por enseñarme buenos valores desde pequeño. Sus palabras y su cariño fueron muy importantes para motivarme a salir adelante y no rendirme en esta etapa universitaria. Este logro también es para ustedes.

A mis tíos y tías

Quiero expresar mi agradecimiento a mis tíos y tías por el apoyo y cariño que siempre me han brindado. Gracias por sus consejos, por motivarme a seguir luchando por mis metas y por estar conmigo en los momentos importantes de mi vida. Sus palabras y confianza en mí fueron una gran motivación para poder llegar hasta este logro.

A mis padrinos

Con profundo afecto, expreso mi agradecimiento a mis padrinos: Juan De Dios Curiel Curiel, Alma Irasema Hernández Guerra, Pedro Juárez Santiago, Isabel Juárez. Gracias por su apoyo constante, por las correcciones que me han guiado, por sus consejos y por acompañarme en los momentos más significativos de mi vida. Les reconozco el valor de sus palabras de aliento, la motivación que me han brindado para seguir adelante y el cariño y confianza que siempre me han ofrecido.

A mi cuñado

Ismael Avila López, gracias por el apoyo, los consejos y por motivarme siempre a seguir adelante. Aprecio mucho tu amistad y la confianza que me brindaste durante esta etapa tan importante de mi vida. Gracias por tomarle día y noche conmigo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
ÍNDICE GENERAL	vii
INDICE DE GRAFICAS	x
INDICE DE CUADROS	x
RESUMEN.....	10
INTRODUCCION.....	11
CAPITULO I.....	14
MARCO METODOLOGICO	14
Antecedentes y justificación	14
OBJETIVOS.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
Pregunta de investigación e hipótesis	15
Metodología.....	16
CAPITULO II.....	18
MARCO REGIONAL	18
Ubicación del área de estudio.....	18
Clima de la región.....	18
Suelo y vegetación	19
Problemática agrícola en zonas semiáridas	20
CAPITULO III.....	21
MARCO TEORICO	21
1. Restricciones a la agricultura en zonas áridas	21
1.1 Escasez de agua.	21
1.2 Degradación de suelos:	21
1.3 Temperaturas extremas:.....	22
1.4 Pérdida de biodiversidad:	22
1.5 Limitaciones socioeconómicas:.....	22
1.6 Estrategias de adaptación	22
2. Agricultura protegida.....	23

2.1 Tipos de agricultura protegida	23
2.1.1 Invernaderos:	23
2.1.2 Malla sombra:.....	23
2.1.3 Macro túneles:	23
2.1.4 Micro túneles:.....	24
2.1.5 Acolchados plásticos:	24
2.1.6 Hidroponía:	24
2.2 Evolución de la agricultura protegida en México.....	24
2.3 Importancia social y económica.....	25
3. El walipini.....	25
3.1 Origen del Walipini.....	25
3.2 Características generales y de construcción de los Walipinis	26
3.2.1 Ubicación	26
3.2.2 Orientación del Walipini.....	26
3.2.3 Excavación	27
3.2.4 Edificación de las paredes	28
3.2.5 Puertas de ventilación	28
3.2.5 Techo o cobertura	29
3.3 Factores físico-ambientales en los Walipinis	29
3.3.1 Drenaje.....	30
3.3.2 Sustrato.....	30
3.3.3 Riego (Agua)	31
3.3.4 Dirección del viento.....	31
3.3.6 Canal de desvío de lluvia	32
3.3.7 Bermas de protección.....	32
3.3.8 Ventilación	32
4. El huerto en un metro cuadrado	33
4.1 Principios básicos del método original (1981)	33
4.2 Actualización del método (2005)	34
CAPITULO IV	36
RESULTADOS	36
5.1 Determinación del área.....	36
5.2 Excavación	37

5.3 Acondicionamiento del interior del invernadero.....	37
5.4 Instalación de la estructura de soporte	38
5.5 Colocación de la cubierta	40
5.6 Puerta de acceso	41
5.7 Instalación de los cajones para cultivo.....	43
5.8 Germinación.....	43
5.9 Producción de hortalizas y rendimiento	44
5.9.1 Rábano.....	45
5.9.2 Acelga	46
5.9.3 Frijol ejotero.....	48
5.9.4 Cilantro	49
5.9.5 Betabel	51
5.9.6 Zanahoria.....	53
5.10 Riego y consumo de agua	54
5.11 Temperatura y humedad	54
5.12 Costos de construcción	55
CAPITULO V	58
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación	18
Figura 2 Orientación del Walipini	27
Figura 3 Determinación del área.....	36
Figura 4 Excavación	37
Figura 5 Acondicionamiento	38
Figura 6 Instalación de soporte	38
Figura 7 Colocación de vigas	39
Figura 8 Colocación de duelas.....	39
Figura 9 Colocación de perfil sujetador	40
Figura 10 Colocación de la cubierta.....	41
Figura 11 Puerta de acceso.....	42
Figura 12 Colocación de pasador metálico	42

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Altura promedio del rábano por cajón.....	45
Grafica 2 Peso promedio del rábano por cajón	45
Grafica 3 Peso promedio de acelga por cajón.....	47
Grafica 4 Altura promedio de hoja de acelga por cajón	46
Grafica 5 Ancho promedio de hoja de acelga por cajón	47
Grafica 6 Peso promedio del frijol ejotero por cajón	48
Grafica 7 Promedio de altura de vaina del Frijol ejotero por cajón	48
Grafica 8 Peso promedio del cilantro por cajón.....	49
Grafica 9 Altura promedio del cilantro por cajón	50
Grafica 10 Peso promedio del betabel por cajón	51
Grafica 11 Altura promedio de planta de betabel por cajón	51
Grafica 12 Altura promedio de bulbo de betabel por cajón	52
Grafica 13 Peso promedio de la zanahoria por cajón	53
Grafica 14 Altura promedio de raíz tuberosa de zanahoria.....	53

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Distribución de hortalizas en el cajón	34
Cuadro 2 Días a germinación de las hortalizas	44
Cuadro 3 Riego y consumo de agua.....	54
Cuadro 4 Costos de construcción.....	56

RESUMEN

Las regiones semiáridas del norte de México enfrentan serias restricciones para la actividad agrícola, principalmente por la limitada disponibilidad de agua, las temperaturas extremas y las marcadas oscilaciones térmicas entre el día y la noche. Frente a este panorama, el presente trabajo se propuso analizar la factibilidad técnica y productiva de un invernadero subterráneo tipo Walipini como alternativa sostenible para su implementación en comunidades rurales de Saltillo Coahuila. La investigación se llevó a cabo en el área de permacultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila. Se diseñó y construyó un Walipini de 3 x 4 metros y 1.5 metros de profundidad, en el cual se estableció un sistema de cultivo de hortalizas en cajones bajo principios de permacultura. Se evaluaron hortalizas como rábano, acelga, cilantro, zanahoria, betabel y frijol ejotero, comparando su desempeño dentro del invernadero y en condiciones de campo abierto. Se registraron variables agronómicas como tiempo de germinación, altura de planta, tamaño de hoja, peso fresco y rendimiento, además del consumo de agua y los costos de construcción.

Los resultados evidenciaron que el Walipini promovió una germinación más acelerada en todas las especies y favoreció la conservación de la humedad del sustrato, reduciendo el uso de agua en aproximadamente un 50 % respecto al cultivo exterior. Asimismo, hortalizas como acelga, cilantro y zanahoria mostraron mayor crecimiento y productividad dentro del invernadero. En contraste, el rábano y el frijol ejotero tuvieron mejores rendimientos en condiciones externas, mientras que el betabel presentó un comportamiento intermedio. El costo total de construcción fue de \$8,240 lo que confirma que se trata de un sistema accesible para pequeños productores. En conclusión, el invernadero tipo Walipini representa una opción viable, económica y sustentable para la producción de hortalizas en zonas semiáridas, ya que contribuye al ahorro de agua, mejora las condiciones microclimáticas de ciertos cultivos.

Palabras clave: Walipini, agricultura protegida, zonas semiáridas, hortalizas, seguridad alimentaria, ahorro de agua.

INTRODUCCION

Las zonas áridas y semiáridas representan uno de los principales desafíos para la producción agrícola debido a las condiciones climáticas extremas que limitan el desarrollo de los cultivos. La escasez de agua, las altas temperaturas durante el día, las bajas temperaturas nocturnas y las precipitaciones irregulares afectan directamente la productividad agrícola y dificultan la producción constante de alimentos frescos, especialmente hortalizas. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), gran parte de las regiones secas del mundo enfrentan problemas relacionados con la degradación del suelo, el cambio climático y la disminución de los recursos hídricos, factores que ponen en riesgo la seguridad alimentaria de las comunidades rurales.

En México, las regiones del norte del país presentan condiciones climáticas propias de ambientes semiáridos, donde las lluvias son insuficientes y las temperaturas presentan variaciones extremas entre el día y la noche. En el estado de Coahuila, particularmente en la región de Saltillo, estas condiciones limitan el desarrollo de cultivos establecidos a cielo abierto, ya que la pérdida rápida de humedad del suelo y las temperaturas extremas afectan la germinación, crecimiento y rendimiento de las plantas. Además, el incremento en la demanda de agua para uso agrícola ha generado la necesidad de implementar alternativas productivas que permitan optimizar el aprovechamiento de este recurso y reducir los efectos del clima sobre la producción agrícola.

Ante esta problemática, la agricultura protegida ha adquirido gran importancia como estrategia para mejorar las condiciones de producción en ambientes con limitaciones climáticas. Este tipo de agricultura consiste en el uso de estructuras que permiten modificar parcialmente el ambiente natural para favorecer el desarrollo de los cultivos, reducir riesgos climáticos y mejorar la eficiencia en el uso del agua (FAO, 2017). Entre los sistemas más utilizados destacan los invernaderos, mallas sombra y túneles; sin embargo, muchos de ellos requieren inversiones elevadas y materiales costosos que dificultan su implementación en comunidades rurales de bajos recursos.

En este contexto, el invernadero subterráneo tipo Walipini surgió en la Región Andina como una alternativa para la producción de forraje en las zonas de alta montaña. En este caso, se presenta como una alternativa accesible y sostenible para la producción de hortalizas en zonas semiáridas. El Walipini es una estructura parcialmente construida bajo el nivel del suelo, diseñada para aprovechar la temperatura natural de la tierra como regulador térmico. Su origen se remonta al altiplano boliviano, donde fue desarrollado con el propósito de producir alimentos en regiones con climas extremos (Iturry, 2002). Gracias a su diseño, este sistema permite conservar mejor la humedad, reducir la exposición al viento y mantener temperaturas más estables en comparación con el ambiente exterior, favoreciendo así el desarrollo de los cultivos.

Además de sus ventajas microclimáticas, el Walipini destaca por ser una tecnología de bajo costo, ya que puede construirse utilizando materiales accesibles y herramientas básicas disponibles en las comunidades rurales. Esto lo convierte en una opción viable para pequeños productores que buscan alternativas de producción más eficientes y sostenibles. Asimismo, su implementación puede contribuir al ahorro de agua y a la producción continua de hortalizas, aspectos fundamentales en regiones donde los recursos naturales son limitados.

La presente investigación surge de la necesidad de evaluar el comportamiento y la viabilidad de un invernadero tipo Walipini bajo las condiciones climáticas semiáridas de Saltillo, Coahuila. Para ello, se diseñó e implementó un Walipini en el área de permacultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se establecieron diferentes especies hortícolas tanto en el interior del invernadero como en condiciones exteriores. A través de esta comparación se analizaron variables agronómicas relacionadas con el crecimiento y rendimiento de las plantas, tales como altura, número de hojas, diámetro de tallo, días a germinación y producción obtenida. De igual manera, se registraron variables microclimáticas como temperatura, humedad relativa y consumo de agua, con la finalidad de identificar las diferencias entre ambos sistemas de producción.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental y cuantitativo, permitiendo obtener información sobre el efecto del microclima generado dentro del Walipini en el desarrollo de las hortalizas. Además, se realizó una estimación de los costos de construcción del sistema, con el propósito de evaluar su factibilidad técnica y económica para su posible implementación en comunidades rurales de zonas semiáridas.

Finalmente, este trabajo busca aportar información que contribuya al desarrollo de alternativas agrícolas sostenibles y accesibles para pequeños productores rurales. La evaluación del invernadero tipo Walipini permitirá identificar sus ventajas y limitaciones como sistema de agricultura protegida, así como su potencial para mejorar la producción local de hortalizas, optimizar el uso del agua y fortalecer la seguridad alimentaria en regiones con condiciones climáticas adversas.

CAPITULO I

MARCO METODOLOGICO

Antecedentes y justificación

Las comunidades rurales que se encuentran en las zonas semiáridas del norte de México presentan condiciones adversas para la producción y consumo de alimentos frescos, sanos e inocuos principalmente hortalizas, uno de los principales retos son los efectos del clima, las bajas precipitaciones y las altas temperaturas durante el día. Las variaciones térmicas marcadas entre el día y la noche influyen directamente en el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos establecidos a cielo abierto, es por ello que estas condiciones obligan a investigadores y productores a buscar alternativas productivas que permitan reducir los efectos del cambio climático y de esta manera optimizar el uso del agua, recurso que en estas regiones del norte del país es limitado. En este contexto donde el cambio climático y la escasez de agua representan desafíos constantes para el sector agrícola, es importante generar información que contribuya al desarrollo de sistemas de producción más resilientes y sostenibles.

El invernadero tipo Walipini es una alternativa atractiva debido a que su diseño subterráneo aprovecha la temperatura del suelo como regulador térmico natural. Al estar parcialmente bajo tierra, se reduce la exposición directa al viento, se conserva mejor la humedad y se generan condiciones más estables en el interior en comparación con el ambiente exterior. Además, su construcción puede realizarse con materiales accesibles que las y los productores tienen a su disposición (madera, herramientas básicas: azadones, palas, carretilla, barra, talaches; equipo básico de carpintería: taladro, pijas, clavos, bisagras, pasador) y con una inversión menor en comparación con la construcción de invernaderos convencionales, es por ello es una alternativa viable para pequeños productores y comunidades rurales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la viabilidad técnica y productiva de un invernadero tipo Walipini como alternativa sostenible para su implementación en comunidades rurales en zonas semiáridas del estado de Coahuila.

Objetivos específicos

1. Diseñar e implementar un invernadero subterráneo tipo Walipini adaptado a las condiciones climáticas semiáridas de Saltillo.
2. Establecer un sistema de producción de hortalizas en cajones, bajo principios de la permacultura tanto en el interior del Walipini, como en condiciones exteriores.
3. Medir el desarrollo de las variables agronómicas (altura de planta, número de hojas, días a germinación).
4. Evaluar y comparar el rendimiento productivo en condiciones interiores y exteriores (peso fresco por planta, y número de frutos).
5. Analizar las variaciones micro climáticas entre el interior del Walipini y el ambiente exterior mediante el registro de temperatura mínima y máxima, humedad relativa.
6. Estimar los costos económicos de un invernadero Walipini.

Pregunta de investigación e hipótesis

El invernadero subterráneo tipo Walipini genera condiciones microclimáticas más favorables para la producción de hortalizas en comparación con el cultivo exterior, favoreciendo un mejor desarrollo de las plantas, mayor rendimiento y un menor consumo de agua en condiciones semiáridas.

¿Es el invernadero tipo wallipini una alternativa tecnológica viable para favorecer la soberanía alimentaria de las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas de Coahuila?

¿Cuáles son los principales desafíos que representa si instrumentación y promoción en las zonas áridas de Coahuila?

Metodología

La presente investigación es de tipo experimental, debido a que este estudio consistió en la evaluación, comportamiento y desarrollo de diferentes hortalizas bajo dos condiciones de producción distintas: en el interior de un invernadero subterráneo tipo Walipini y en condiciones exteriores. El objetivo principal fue determinar la viabilidad técnica y productiva del Walipini como alternativa sostenible para su implementación en comunidades rurales en zonas semiáridas.

La investigación también tuvo con un enfoque cuantitativo, ya que durante el desarrollo del trabajo se realizaron mediciones, registros y comparaciones relacionadas con variables agronómicas, ambientales y productivas.

Entre las variables evaluadas se midieron: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, días a germinación, temperatura, humedad relativa, rendimiento y consumo de agua. Además, se puso atención en las variaciones entre el día y la noche ya que, en estas zonas semiáridas, las diferencias suelen ser más visibles. La información obtenida permitió comparar el desarrollo de los cultivos en ambos ambientes de producción. Así mismo, el estudio fue considerado de carácter comparativo, debido a que se analizaron las diferencias existentes entre las hortalizas producidas dentro del Walipini y aquellas establecidas al exterior, esto permitió observar el efecto que tienen las condiciones microclimáticas generadas dentro del invernadero subterráneo sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Durante la investigación se realizaron observaciones directas y registros de las variables evaluadas, dando seguimiento constante al desarrollo de las hortalizas tanto en el interior del Walipini como en las condiciones exteriores. Los datos obtenidos

fueron organizados y analizados con el propósito de identificar las ventajas y limitaciones del sistema bajo las condiciones ambientales de la región de Saltillo Coahuila. En base a los resultados obtenidos, se realizó una comparación entre ambos sistemas de producción, permitiendo evaluar la eficiencia del Walipini en aspectos relacionados con el desarrollo de las hortalizas, el rendimiento productivo y el ahorro de agua en el sistema productivo.

Los datos obtenidos fueron organizados en tablas y analizados mediante estadística descriptiva, calculando promedios para cada variable evaluada.

Los resultados fueron presentados mediante cuadros y gráficas comparativas entre tratamientos, permitiendo identificar tendencias en la germinación, crecimiento y rendimiento de las especies hortícolas evaluadas.

CAPITULO II

MARCO REGIONAL

Ubicación del área de estudio

La presente investigación se realizó en el área de permacultura de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo Coahuila. El área experimental se encuentra detrás del Departamento de Socioeconómicas, dentro de las instalaciones de la Universidad en las siguientes coordenadas **25°21'12.30"** latitud norte, **101°01'44.33"** longitud oeste, con una elevación de 1782 msnm, considerando las condiciones del terreno y el clima de la región de Saltillo.

Para probar la tecnología del invernadero subterráneo tipo Walipini como alternativa para las zonas áridas, se diseñó un invernadero de 3 m x 4 m y 1.5 altura en el Centro de Permacultura, donde se sembró en los ciclos:

- Otoño-Invierno 2025: Zanahoria, Rabano, Cilantro, Acelga, Betabel
- Primavera-Verano 2026: Frijol ejotero, Acelga

Figura 1 Ubicación



Fuente: Imagen tomada de Google Earth.

Clima de la región

Saltillo se clasifica dentro del sistema de Köppen como un clima seco y semiseco templado (BSk). Este tipo de clima se caracteriza por una limitada disponibilidad de

humedad, ya que la evaporación excede a la precipitación anual, aunque las temperaturas se moderan gracias a la altitud de la ciudad, situada a unos 1,600 metros sobre el nivel del mar (García, 2004)

La fórmula BSk se interpreta de la siguiente manera:

- B (Seco): Representa zonas donde la precipitación es insuficiente frente a la evaporación, lo que favorece la presencia de vegetación xerófila y ambientes semidesérticos.
- S (Estepa): Subtipo de clima árido caracterizado por lluvias escasas e irregulares, generalmente entre 300 y 500 mm anuales, que permiten el desarrollo de pastizales y matorrales (Peel et al., 2007).
- k (Frío/Templado): Indica que la temperatura media anual es inferior a 18 °C. En Saltillo esto se refleja en inviernos fríos y una marcada variación térmica, con registros que oscilan entre 5 °C y máximas cercanas a 29 °C (INEGI, 2020).

Las temperaturas presentan una amplia variación entre el día y la noche, fenómeno que afecta los procesos fisiológicos de las plantas. En verano predominan las altas temperaturas y la radiación solar intensa, mientras que en invierno son comunes las heladas y los descensos bruscos de temperatura (CONAGUA, 2019).

Suelo y vegetación

Los suelos de Saltillo son principalmente de textura media, aunque en algunas zonas predominan los arcillosos. Esta variabilidad influye en la capacidad de retención de humedad y en la disponibilidad de nutrientes, factores determinantes para la productividad agrícola. En muchos casos, los suelos presentan bajos contenidos de materia orgánica, lo que limita su fertilidad natural (SEMARNAT, 2020). La vegetación está conformada por especies adaptadas a ambientes áridos, como el mezquite, el nopal, la gobernadora y la lechuguilla, que poseen mecanismos fisiológicos para sobrevivir en condiciones de escasez hídrica. La presencia de estas especies refleja las limitaciones para la agricultura tradicional, ya que el ecosistema está orientado a la

supervivencia en ambientes áridos y no al desarrollo de cultivos intensivos (Granados-Sánchez et al., 2012).

Problemática agrícola en zonas semiáridas

Las regiones semiáridas del norte de México enfrentan grandes retos en la producción agrícola. La disponibilidad limitada de agua, derivada de lluvias insuficientes, impide sostener cultivos durante todo el ciclo productivo (FAO, 2019). Esta situación obliga a los agricultores a depender de sistemas de riego, lo que incrementa los costos de producción y la presión sobre los recursos hídricos. Otro problema relevante son las temperaturas extremas y las variaciones térmicas entre el día y la noche, que afectan la germinación y el rendimiento de las hortalizas cultivadas a cielo abierto. La rápida pérdida de humedad en el suelo obliga a realizar riegos frecuentes, aumentando el consumo de agua y reduciendo la eficiencia en su uso. Estas condiciones han impulsado la búsqueda de sistemas alternativos de producción, como la agricultura protegida, que permite conservar mejor la humedad y generar ambientes más favorables para las plantas (Lluch-Cota et al., 2022).

CAPITULO III

MARCO TEORICO

1. Restricciones a la agricultura en zonas áridas

Las zonas áridas y semiáridas representan más del 43% de la superficie terrestre representan más del 43 % de la superficie terrestre mundial y albergan a cerca de 2 mil millones de personas, de las cuales el 90 % viven en países en desarrollo (FAO, 2020). En México, más del 50% del territorio nacional presenta algún grado de aridez, lo que condiciona fuertemente la producción agrícola (Lluch-Cota et al., 2022). Estas regiones se caracterizan por precipitaciones escasas, alta evapotranspiración, suelos con baja fertilidad y temperaturas extremas, generando múltiples restricciones para la agricultura.

La desertificación y la degradación de tierras son procesos que afectan directamente la capacidad de producir alimentos. Según (CONAFOR-UACH.2013). más del 70% de las tierras secas productivas en México están amenazadas por procesos de degradación.

1.1 Escasez de agua. La baja precipitación anual, generalmente inferior a 250 mm, impide mantener cultivos sin sistemas de riego. El cambio climático ha intensificado las sequías prolongadas, reduciendo la capacidad de riego y comprometiendo la seguridad alimentaria. Además, la sobreexplotación de acuíferos provoca salinización y deterioro de la calidad del agua, lo que limita la producción de hortalizas y forrajes en estados como Sonora y Baja California (FAO, 2019; Lluch-Cota et al., 2022).

1.2 Degradación de suelos: Los suelos áridos presentan problemas de erosión, pérdida de nutrientes y salinización. La desertificación, producto de la presión climática y del uso inadecuado de los recursos, afecta más del 70% de las tierras secas productivas en México (CONAFOR-UACH.2013). Prácticas como el sobrepastoreo, la

deforestación y el riego excesivo han acelerado este proceso, obligando a implementar medidas de conservación como terrazas, rotación de cultivos y reforestación con especies nativas (Granados-Sánchez et al., 2012).

1.3 Temperaturas extremas: Las amplias variaciones térmicas entre el día y la noche generan estrés fisiológico en las plantas, afectando la germinación y reduciendo el rendimiento. En cultivos como jitomate, chile y frijol se han reportado pérdidas de hasta un 40% en regiones como Baja California Sur. Para mitigar estos efectos se promueve el uso de invernaderos, mallas sombra y túneles plásticos (Lluch-Cota et al., 2022).

1.4 Pérdida de biodiversidad: La explotación intensiva de especies nativas para leña y carbón, junto con el sobrepastoreo, ha reducido la cobertura vegetal y la capacidad de los ecosistemas para regenerarse. Esto afecta procesos clave como la polinización y la fertilidad natural de los suelos, disminuyendo la resiliencia frente al cambio climático y la productividad agrícola (FAO, 2020).

1.5 Limitaciones socioeconómicas: Los pequeños productores enfrentan bajos ingresos, escasa infraestructura y falta de inversión tecnológica. Esta situación genera un círculo de pobreza que limita la capacidad de adaptación y fomenta la migración hacia las ciudades, debilitando aún más la producción agrícola en comunidades rurales (CEPAL, 2021).

1.6 Estrategias de adaptación

- **Cultivos tolerantes:** como sorgo, nopal y forrajes alternativos, capaces de resistir condiciones de sequía.
- **Manejo eficiente del agua:** mediante riego por goteo, captación de agua de lluvia y uso de aguas residuales tratadas.
- **Conservación de suelos:** con prácticas agroforestales, terrazas y reforestación con especies nativas.

- **Diversificación productiva:** integración de agricultura con ganadería estabulada y sistemas agroforestales.
- **Programas internacionales:** iniciativas de la FAO que promueven resiliencia y sostenibilidad en la producción agrícola.

2. Agricultura protegida

La agricultura protegida puede entenderse como el empleo de estructuras cerradas o semicerradas recubiertas con materiales que permiten el paso parcial de la luz. Estas instalaciones generan un microclima artificial que favorece el desarrollo de los cultivos. Su propósito central es mitigar los efectos negativos del ambiente, optimizar el uso de insumos y elevar la productividad agrícola (García Sánchez et al., 2018). De igual forma, este modelo posibilita una producción más constante y competitiva, sobre todo en zonas donde la agricultura tradicional enfrenta limitaciones ambientales (Padilla Bernal et al., 2020).

2.1 Tipos de agricultura protegida

2.1.1 Invernaderos: son instalaciones cerradas que permiten regular factores como la temperatura, la humedad, la ventilación y la radiación solar, se consideran el sistema más sofisticado dentro de la agricultura protegida, ya que posibilitan modificar el ambiente de manera integral y potenciar el crecimiento vegetal (Ortega-Martínez et al., 2014, citado en López-García et al., 2023). Su uso es común en la producción de hortalizas de alto valor comercial, como jitomate, pimiento y pepino.

2.1.2 Malla sombra: consiste en estructuras cubiertas con tejidos especiales que disminuyen la intensidad de la radiación solar. Este sistema ayuda a reducir el estrés térmico en las plantas y mejora el manejo agronómico, siendo particularmente útil en regiones de clima cálido (Romantchik Kriuchkova et al., 2018).

2.1.3 Macro túneles: son estructuras semicirculares recubiertas con plástico que protegen los cultivos de lluvias, vientos y temperaturas extremas. Según López García et al. (2023), representan una alternativa intermedia entre los invernaderos y

sistemas más simples, y se emplean ampliamente en la producción de berries y hortalizas.

2.1.4 Micro túneles: son pequeñas estructuras formadas por arcos cubiertos con plástico, colocados directamente sobre los cultivos. Su función principal es resguardar las plantas en las primeras fases de crecimiento, favoreciendo la germinación y reduciendo daños por heladas ligeras o lluvias intensas (López García et al., 2023).

2.1.5 Acolchados plásticos: consiste en cubrir la superficie del suelo con láminas plásticas, lo que ayuda a conservar la humedad, disminuir la aparición de malezas y regular la temperatura del sustrato. Esta práctica suele combinarse con otros sistemas de protección para mejorar la eficiencia productiva y el aprovechamiento del agua (Padilla Bernal et al., 2020).

2.1.6 Hidroponía: La hidroponía es un método de cultivo sin suelo, en el que las plantas reciben nutrientes a través de soluciones nutritivas. Este sistema permite un uso más racional del agua y de los fertilizantes, además de facilitar el control de las condiciones de crecimiento. Investigaciones recientes muestran que los sistemas hidropónicos incrementan tanto el rendimiento como la calidad de los productos hortícolas bajo condiciones protegidas (Alvarado-Chávez et al., 2020).

2.2 Evolución de la agricultura protegida en México

En México, la agricultura protegida ha crecido de manera notable en las últimas décadas, impulsada por la necesidad de aumentar la productividad y atender la demanda de los mercados nacionales e internacionales. Diversos estudios señalan que esta modalidad se ha consolidado como una estrategia tecnológica clave para fortalecer la competitividad agrícola, especialmente en la producción de hortalizas destinadas a la exportación (García-Sánchez et al., 2018; Vargas-Canales et al., 2015).

2.3 Importancia social y económica

La agricultura protegida contribuye a la seguridad alimentaria al garantizar una producción más estable y eficiente. Asimismo, fomenta la generación de empleos, la innovación tecnológica y la exportación de productos agrícolas de alto valor. Desde la perspectiva ambiental, constituye una alternativa para optimizar el uso del agua y disminuir los impactos negativos de las condiciones climáticas adversas sobre los cultivos (Padilla-Bernal et al., 2020).

3. El walipini

3.1 Origen del Walipini

La búsqueda de alternativas que permitieran superar las limitaciones de la producción hortícola en el altiplano boliviano llevó al agricultor suizo Peter Iseli, propietario de la granja Agroforestal Ventilla, ubicada a 50 km de La Paz, en dirección a Oruro, a diseñar entre 1989 y 1990 un invernadero subterráneo denominado *Walipini*. El término proviene del idioma aymara y significa “lugar cálido”, reflejando la intención de ofrecer una solución estable frente a las inclemencias del clima (Iturry 2002).

En 1990, el Instituto Benson se vinculó al proyecto de Iseli, aportando recursos económicos y logísticos para impulsar la investigación y la implementación de esta tecnología agrícola, concebida para beneficiar a los productores andinos de Bolivia y de otros países sudamericanos (Ayaviri 1996; citado en Iturry 2002).

Actualmente, el Instituto Benson continúa experimentando con los Walipinis y los llamados *pancar huyus*. Asimismo, comunidades del altiplano han replicado las experiencias de la estación experimental de Letanías, ya sea de manera autónoma o con el apoyo de instituciones como la ONG **CECASEM**, que desarrolla proyectos en las provincias de Larecaja y Omasuyos, en el departamento de La Paz (Iturry 2002).

3.2 Características generales y de construcción de los Walipinis

El diseño de los Walipinis responde a los principios básicos de las instalaciones destinadas al control microclimático, distinguiéndose por su capacidad de optimizar tanto el régimen hídrico como el comportamiento térmico en su interior.

3.2.1 Ubicación

La elección del sitio de construcción resulta fundamental, ya que el tipo de suelo, sus estructura y composición determinan la estabilidad del invernadero. En suelos con horizontes permeables, la excavación puede ocasionar deslizamientos en los muros de tierra, mientras que la cercanía de los mantos freáticos, incrementa el riesgo de infiltraciones que afectarían negativamente en los cultivos futuros. (Iturry 2002).

Por ello, antes de iniciar la excavación se recomienda realizar perforaciones de sondeo para identificar la composición de los horizontes del terreno, así mismo, el walipini debe situarse en las proximidades de fuentes de agua, como pozos, lo que facilita las labores agrícolas y asegura un suministro adecuado para el riego (Iturry 2002).

3.2.2 Orientación del Walipini

Una vez verificada la calidad del suelo, la orientación de la estructura se convierte en un aspecto clave para su eficiencia. En el hemisferio sur, la cubierta debe inclinarse hacia el norte la puerta hacia debe colocarse al el este, de manera que los rayos del sol cubran el walipini durante la mañana calentando el ambiente y fomentando la oxigenación de este. La finalidad es optimizar el ingreso de los rayos solares dentro del ambiente, captando la radiación solar durante el día (Iturry 2002).

Si no se cuenta con una brújula, (Velasco 1999 citado en Iturry, 2002) sugiere un método práctico: colocar un poste en posición vertical durante la mañana o al

atardecer; la sombra proyectada indica de manera aproximada el eje este-oeste. Con estacas y cuerdas se puede delimitar la superficie destinada a la excavación.

Las variaciones en el recorrido solar según la estación no afectan de manera significativa la eficiencia del Walipini, ya que la pérdida de radiación diaria se mantiene dentro de un margen inferior al 7 % (Iturry 2002).



Fuente: Imagen del Manual de construcción del walipini y Panqar Huyu 2002

3.2.3 Excavación

La excavación puede realizarse de manera manual o mediante el uso de maquinaria. Es aconsejable separar el horizonte arable del suelo para reutilizarlo posteriormente en la preparación de la cama orgánica.

La profundidad de la excavación depende de las necesidades del constructor y del manejo previsto del ambiente; sin embargo, se recomienda alcanzar unos 2.20 m, de modo que, tras instalar el sistema de drenaje y la cama orgánica, el foso final tenga aproximadamente 1.80 m de profundidad (Iturry 2002).

Las dimensiones del área excavada varían según los requerimientos de los productores. En la estación experimental de Letanías, se optó por un espacio de 4.0 m x 22.0 m, decisión basada en las medidas de los rollos de agrofilm el insumo más

costoso Esta elección permite aprovechar el material sin desperdicios y mejorar la relación costo-beneficio por metro cuadrado de construcción (Iturry 2002).

3.2.4 Edificación de las paredes

Los muros del **Walipini** pueden levantarse con diversos materiales, pero es indispensable asegurar su resistencia, ya que deben soportar tanto la carga del techo como la presión ejercida por las bermas de tierra.

En la estación experimental de Letanías, con el fin de reducir costos, se construyeron paredes de *tapial* con dimensiones de 0.6 m de altura, 0.5 m de ancho y 2.0 m de largo. Estas se colocaron directamente sobre el terreno, sin cimentación, y la pendiente del techo se apoyó en un murete adicional de tapial. Este refuerzo fue necesario porque el horizonte arable carece de la dureza suficiente para garantizar estabilidad. Por ello, se recomienda excavar hasta 0.6 m de profundidad para edificar un murete que proporcione la resistencia requerida (Iturry 2002).

Las bermas que rodean las paredes deben incluir una base de agrofilm, lo que evita filtraciones de agua. Además, cumplen una doble función: acumulan tierra que actúa como masa térmica para conservar calor y, al mismo tiempo, sirven como aislamiento frente a las bajas temperaturas del suelo y la acción del viento (Iturry 2002).

3.2.5 Puertas de ventilación

Las entradas al walipini deben colocarse en lados opuestos, y en diagonal dentro de las paredes laterales, con el fin de favorecer la circulación del aire en el interior. La excavación de estas puertas debe realizarse de manera simultánea a la apertura de la fosa principal. Dado que el walipini no cuenta con ventanas para la ventilación, es indispensable que las puertas estén diseñadas de modo que su parte superior permanezca abierta durante el día. Esto asegura el ingreso constante de aire fresco y contribuye al mantenimiento de un ambiente adecuado para los cultivos (Iturry 2002).

3.2.5 Techo o cobertura

El elemento más relevante y costoso de la estructura del walipini, además de ser el de menor durabilidad, es el techo. El material recomendado para su construcción es el agrofilm de 250 micras de espesor, debido a sus propiedades físicas y químicas que le otorgan mayor resistencia frente a la radiación ultravioleta, prolongando su vida útil en comparación con otros plásticos de polietileno (Iturry 2002).

La cubierta se sostiene sobre vigas de eucalipto (*callapos*) de 6 m de longitud y 0.10 m de diámetro, fijadas a los muros de tapial mediante alambre de amarre y clavos de 5'. Estas vigas se colocan con una separación de 1 m, sumando un total de 21 postes para cubrir toda el área. En sentido transversal se añaden cintas plásticas que refuerzan la estabilidad y evitan que el peso de granizo, nieve o agua genere hundimientos en el agrofilm, lo que podría acelerar su deterioro (Iturry 2002).

Una vez asegurados los postes, se extiende el agrofilm en la parte inferior del techo, tensándolo para impedir depresiones en el centro. Con vigas más delgadas, parte del material lateral se fija a las paredes este y oeste mediante clavos y alambre de amarre. Posteriormente, se coloca la capa superior del agrofilm, generando un traslape de aproximadamente 0.4 m entre ambas secciones. Para sujetar el plástico a los postes de madera se utilizan bandas de goma provenientes de neumáticos, que actúan como protección y evitan que los clavos lo dañen con el impacto del viento. Finalmente, en la pendiente del techo se instalan canaletas de drenaje, cuya función es desviar el agua hacia zanjales externas. Estas canaletas se fijan a los callapos mediante sunchos, láminas metálicas maleables capaces de soportar el peso del agua acumulada (Iturry 2002).

3.3 Factores físico-ambientales en los Walipinis

Los factores físico-ambientales abarcan la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, el agua y el suelo. Estos elementos son esenciales para la construcción y el rendimiento productivo de los Walipinis. En este capítulo se

examinarán de manera puntual los aspectos físicos que influyen en su funcionamiento (Iturry 2002).

3.3.1 Drenaje

El sistema de drenaje dentro del Walipini cumple una función esencial: prevenir la salinización secundaria del suelo, un riesgo frecuente debido al riego continuo que requieren los cultivos de hortalizas en este tipo de ambientes. En los Walipinis de Letanías, se implementó una capa de cascajo de piedra de manzano con una altura de entre 15 y 20 cm, lo que favorece la evacuación del exceso de agua y contribuye a mantener la calidad del sustrato.

3.3.2 Sustrato

Gran parte de las enfermedades y plagas hortícolas tienen origen en el suelo del cultivo. Sin embargo, en el altiplano las condiciones no favorecen el desarrollo de patógenos, por lo que los suelos locales suelen presentar baja incidencia de estos organismos. El riesgo aumenta al incorporar materia orgánica o composta, razón por la cual se recomienda utilizar abonos ya descompuestos y evitar los frescos (Iturry, 1998).

La proporción entre suelo y abono animal depende de las características edáficas y de las necesidades de los cultivos, siendo preferible evitar fertilizantes químicos. Dado que los suelos del altiplano son básicos, la incorporación de abonos animales de pH ácido ayuda a reducir la alcalinidad y mejorar sus propiedades. En Letanías se empleó una mezcla homogénea de suelo del horizonte Ap y abono animal en una relación **3:1**. El abonado debe repetirse al finalizar cada ciclo de rotación, garantizando que el material orgánico esté previamente descompuesto para una mejor asimilación por las plantas (Iturry, 1998).

3.3.3 Riego (Agua)

Una vez nivelado el sustrato en la fosa, se aplica riego abundante para superar su capacidad de campo. Este proceso permite homogeneizar el suelo, mejorar su fertilidad y optimizar sus propiedades físicas.

Según Velasco (2001), en sistemas de irrigación suelen presentarse dos problemas: la sobre irrigación, que se basa en calendarios rígidos o técnicas poco eficientes, y la aplicación insuficiente, que no cubre las necesidades de las plantas. Por ello, la tendencia actual es aumentar la eficiencia del agua aplicándola en cantidades y momentos adecuados.

La cantidad de agua depende de factores como el tipo de suelo y la etapa de crecimiento del cultivo. Una forma práctica de determinar la necesidad de riego es mediante muestreos diarios: si la sequedad del suelo supera los 2 cm de profundidad, la parcela requiere agua. De acuerdo con Iturri (1998), el riego localizado favorece el uso eficiente del recurso y disminuye la humedad relativa. Además, realizarlo al final de la tarde reduce pérdidas por evaporación y limita la propagación de hongos.

3.3.4 Dirección del viento

La ubicación de las puertas y de la parte más elevada del techo debe planearse evitando el sector donde se presentan los vientos más intensos, ya que su impacto directo puede comprometer la estabilidad de la estructura (Iturri, L. 1998).

3.3.5 Ventanas

Se recomienda que tengan dimensiones de 0.50 × 0.50 m y que se sitúen a unos 0.35 m sobre el nivel del suelo, dentro del muro de 1.50 m de altura. Su apertura permite la entrada de aire fresco, lo que ayuda a regular la temperatura interna y mejora las condiciones de ventilación del espacio (Velasco, N. 1999).

3.3.6 Canal de desvío de lluvia

Es recomendable abrir un canal externo que permita conducir el agua pluvial lejos del invernadero. Esta medida previene acumulaciones que podrían provocar erosión o debilitamiento de los muros, especialmente en terrenos con pendiente (Iturry, L. 1998).

3.3.7 Bermas de protección

Se levantan taludes en todo el contorno del invernadero con el propósito de evitar filtraciones. Además, el volumen adicional de tierra actúa como masa térmica, almacenando calor y mejorando la regulación de la temperatura interna. Estas bermas suelen elaborarse con barro mezclado con fibras vegetales como la paja brava (Velasco, N. 1999).

3.3.8 Ventilación

La ventilación es un aspecto clave para el buen funcionamiento del Walipini, ya que evita que los cultivos se vean afectados por temperaturas elevadas o exceso de humedad. Las puertas están diseñadas de manera que su parte superior pueda abrirse como ventanas, permitiendo el ingreso de aire fresco y regulando la temperatura interna (Luis Iturry, 1998).

De acuerdo con Luis Iturry (1998), las temperaturas más altas se registran a partir del mediodía, por lo que se recomienda ventilar poco antes de ese momento para prevenir el sobrecalentamiento. Además, la ventilación ayuda a restablecer los niveles de CO₂, que tienden a disminuir con la mayor intensidad de radiación solar. Para conservar el calor durante la noche, las puertas deben cerrarse cuando la temperatura comienza a descender. En algunos casos, el Walipini puede calentarse demasiado durante el día; para mitigar este efecto y reducir la pérdida de calor nocturna, se aconseja cubrir entre un 15 y 20 % de la superficie con paja.

La humedad relativa sigue un comportamiento similar al de la temperatura y se controla mediante la apertura de las partes superiores de las puertas. Según datos de (Ayaviri 1996, citado en Iturry 2002) en invierno las temperaturas promedio dentro del Walipini alcanzan un máximo de 39.4 °C y un mínimo de 6.7 °C, mientras que en el exterior fluctúan entre 21.0 °C y -5.3 °C. La humedad relativa promedio registrada es de 54.2 %.

4. El huerto en un metro cuadrado

El sistema de un metro cuadrado fue creado por Mel Bartholomew en 1981 como una alternativa práctica y eficiente para producir hortalizas en espacios reducidos. La propuesta consiste en preparar una cama elevada de 1 m², dividida en cuadrículas iguales, donde cada sección se destina a un cultivo específico. El objetivo es aprovechar al máximo el espacio, reducir el consumo de agua y facilitar el manejo de los cultivos, especialmente en ambientes urbanos o semiáridos (Bartholomew, 1981).

Bartholomew recomienda que las camas sean elevadas y delimitadas con madera, bloques o ladrillos, con una profundidad de entre 15 y 20 cm. Este diseño evita la compactación del suelo, mejora la aireación y facilita el acceso sin necesidad de pisar el área de cultivo. Además, se sugiere dejar pasillos alrededor de cada cama para un manejo más cómodo (Bartholomew, 2005).

4.1 Principios básicos del método original (1981)

- **División en cuadrículas:** el metro cuadrado se subdivide en 16 cuadros de 25×25 cm, aunque también puede organizarse en 9 cuadros de mayor tamaño.
- **Número de plantas por cuadro:** según el tamaño de la especie, se siembran 1, 4, 9 o 16 plantas por cuadrícula.
- **Rotación de cultivos:** cada temporada se cambia la especie sembrada en cada cuadro, lo que mantiene la fertilidad y reduce plagas.

- **Uso eficiente del agua:** el riego se concentra en áreas pequeñas, evitando pérdidas por evaporación.

A continuación, se presenta una tabla de la distribución de hortalizas (Bartholomew, 1981).

Cuadro 1 Distribución de hortalizas en el cajón

Tipo de cultivo	Plantas por cuadro	Ejemplos
Grandes	1	Tomate, brócoli, col
Medianos	4	Lechuga, acelga, espinaca
Pequeños	9	Cebolla, remolacha, frijol
Muy pequeños	16	Zanahoria, rábano, ajo

Fuente: Datos obtenidos del libro: *All New Square Foot Gardening*. Emmaus, PA: Rodale Press

En un solo metro cuadrado se pueden cultivar simultáneamente hasta 16 especies distintas, dependiendo de la combinación elegida.

4.2 Actualización del método (2005)

En la edición revisada *All New Square Foot Gardening*, Bartholomew perfecciona el sistema introduciendo innovaciones que serán descritas a continuación:

- **Mezcla de suelo (“Mel’s Mix”):** compuesta por 1/3 turba, 1/3 vermiculita y 1/3 composta variado, lo que asegura nutrientes equilibrados y buena retención de humedad.
- **Uso de composta múltiple:** se recomienda mezclar composta de diferentes fuentes (estiércol, restos vegetales, lombricomposta) para enriquecer la cama.
- **Riego eficiente:** se promueve el riego localizado por goteo, reduciendo pérdidas por evaporación.
- **Producción continua:** se enfatiza la rotación rápida de cultivos, sembrando nuevas especies en cuanto se cosecha una cuadrícula.
- **Accesibilidad social:** el diseño de camas elevadas facilita el trabajo de personas mayores o con movilidad reducida, ampliando el alcance del sistema (Bartholomew, 2005).

El autor subraya que el éxito del sistema depende de la calidad del suelo. Por ello, propone la mezcla “Mel’s Mix” como estándar, ya que es ligera, fértil y con alta capacidad de retención de agua. Esto resulta especialmente útil en zonas áridas, donde los suelos suelen ser pobres y secos. Además, el uso de composta múltiple garantiza diversidad de nutrientes y reduce la necesidad de fertilizantes químicos (Bartholomew, 2005).

Una de las fortalezas del método es la rotación rápida: cada vez que se cosecha un cuadro, se siembra inmediatamente otro cultivo. Esto permite mantener la producción continua durante todo el año y evita el agotamiento del suelo. La diversidad de especies en un mismo metro cuadrado también reduce la incidencia de plagas y enfermedades (Bartholomew, 2005).

Además, el sistema de un metro cuadrado no solo optimiza espacio y agua, sino que también tiene un impacto social. Bartholomew destaca que es accesible para cualquier persona, incluso quienes no tienen experiencia agrícola. Además, al requerir poco espacio y agua, se convierte en una herramienta para la seguridad alimentaria urbana, especialmente en comunidades con recursos limitados. También contribuye a la sostenibilidad al reducir insumos químicos y aprovechar residuos orgánicos para compost (Bartholomew, 2005).

CAPITULO IV

RESULTADOS

El proceso de la construcción del invernadero subterráneo tipo Walipini se desarrolló de forma manual, utilizando herramientas básicas y materiales accesibles. A continuación, se describen los pasos que se siguieron para llevar a cabo dicha construcción.

5.1 Determinación del área

Primero se seleccionó el espacio en donde se establecería el invernadero procurando que tenga buena exposición al sol durante el día. Una vez determinado el lugar se marcaron las dimensiones de 3 metros de ancho por 4 metros de largo, utilizando algunas estacas, flexómetro y rafia, esto con la finalidad de determinar claramente el perímetro. Después de realizar el marcado se limpió el terreno, eliminando las malezas, piedras y cualquier otro residuo que pudieran dificultar la excavación. Los pasos anteriores, permitieron trabajar sobre una superficie limpia y facilitó las siguientes actividades.

Figura 3 Determinación del área



Fuente: Imagen propia, 2025.

5.2 Excavación

La excavación fue realizada de forma manual, utilizando materiales como: pico, azadón, carretilla, palas y barra. Se retiró el suelo hasta alcanzar una profundidad (1.50 metros) necesaria para que el invernadero quedara bajo el nivel del terreno natural. Una parte de la tierra extraída fue colocada alrededor del perímetro del invernadero.

Figura 4 Excavación



Fuente: Imagen propia, 2025.

5.3 Acondicionamiento del interior del invernadero

Una vez concluida con la excavación, se emparejaron las paredes laterales, con la finalidad de reducir el riesgo del desprendimiento de la tierra. También se compactó ligeramente el piso del invernadero regando un poco de agua, esto se hizo con el fin de darle mayor firmeza a la estructura excavada. Posteriormente se niveló el fondo del invernadero manualmente con ayuda de algunas herramientas básicas que se utilizó para la excavación, esto es importante para que al momento de armar y llevar a cabo la colocación de los cajones de las hortalizas tuviera un nivel uniforme y plano, además de permitir el desplazamiento dentro del invernadero sin ningún problema.

Figura 5 Acondicionamiento



Fuente: Imagen propia, 2025.

5.4 Instalación de la estructura de soporte

Una vez obtenido la excavación y el espacio del invernadero se consiguieron 10 postes de (80 centímetros cada uno) y se les puso aceite quemado en uno de los extremos, este paso se repitió 3 veces con la finalidad de proteger la madera y evitar la pudrición, después se colocaron los postes en cada una de las esquinas y puntos intermedios del perímetro, enterrando 30 centímetros de profundidad y dejando 50 centímetros para las bases y así sostener la estructura del techo.

Figura 6 Instalación de soporte



Fuente: Imagen propia, 2025.

Posteriormente se colocaron 2 vigas una en la parte frontal del invernadero y otra a la mitad con una medida de 4.30 metros, además se colocó un último barrote en la parte trasera del invernadero con una medida de 1.20 metros para soportar las

maderas y dar una altura al invernadero, después 2 vigas a los costados con una medida de 4.40 metros y una última viga por arriba del barrote trasero con la misma medida

Figura 7 Colocación de vigas



Fuente: Imagen propia, 2025.

Posterior a ello, se colocaron 12 duelas de 8 centímetros de ancho por 2.20 metros de largo, formando un techo inclinado a dos aguas. Dicha inclinación se realizó con la finalidad de permitir el escurrimiento del agua de lluvia y evitar acumulaciones que pudieran dañar la cubierta plástica. Por último, se realizó un marco de madera para instalar la puerta, con una medida de 0.76 metros de ancho por 1.90 metros de alto. Las duelas, postes y vigas fueron fijadas con pijas y clavos de diferentes pulgadas con la finalidad de obtener una estructura firme antes de colocar la cubierta.

Figura 8 Colocación de duelas



Fuente: Imagen propia, 2025.

Posteriormente se colocaron perfiles sujetadores alrededor de la estructura para llevar a cabo la colocación de la cubierta.

Figura 9 Colocación de perfil sujetador



Fuente: Imagen propia, 2025.

5.5 Colocación de la cubierta

Después de terminar la estructura y colocar los perfiles sujetadores, se colocó un plástico agrícola (Polietileno), especializado en invernaderos, el plástico fue extendido cuidadosamente y fijado a la madera con el perfil sujetador y un alambre de zigzag para evitar que fuera levantado por el viento. La cubierta permite el paso de luz solar al interior del invernadero, lo que genera un aumento de temperatura durante el día y ayuda a mantener un ambiente más estable en comparación con el exterior. Las partes laterales también fueron cubiertas y fijadas con el plástico para reducir la entrada directa del frío y conservar un calor acumulado dentro del invernadero para acelerar la germinación de las semillas.

Figura 10 Colocación de la cubierta



Fuente: Imagen propia, 2025.

5.6 Puerta de acceso

Finalmente, se instaló una puerta de acceso en la entrada del invernadero con la finalidad de facilitar el ingreso a las personas y al mismo tiempo proteger el interior de las corrientes de aire o de cualquier otro factor que se puedan presentar. La puerta fue elaborada con una estructura metálica (0.76 metros de ancho por 1.90 metros de alto). Esta estructura tiene la finalidad de brindar una mayor resistencia y durabilidad, fue fijada en el marco de madera mediante unas bisagras, asegurando que tuviera un movimiento adecuado para la apertura y cierre. Posteriormente a ello, se colocó algunos perfiles sujetadores a la estructura metálica y se colocó el plástico fijándolo con un alambre zigzag.

Figura 11 Puerta de acceso



Fuente: Imagen propia, 2025.

Para garantizar el correcto funcionamiento y seguridad de la puerta, se instaló un pasador metálico que permite mantener la puerta cerrada cuando sea necesario (en épocas de frío). Este pasador fue fijado tanto en la puerta como en el marco de madera, asegurando la estabilidad y evitando aperturas que sean ocasionadas por el viento. La colocación de la puerta contribuye a conservar mejor el microclima interno del invernadero y facilita el ingreso a distintos personales al área del cultivo.

Figura 12 Colocación de pasador metálico



Fuente: Imagen propia, 2025.

5.7 Instalación de los cajones para cultivo

Para que este experimento se llevara a cabo se construyeron 4 cajones de madera, de los cuales 4 fueron colocadas en el interior del Walipini y los otros 4 en el exterior, procurando que los dos grupos estuvieran bajo las mismas condiciones de manejo. Cada cajón tuvo una dimensión de 80 centímetros de largo por 60 centímetros de ancho, en la parte de abajo del cajón, se colocaron capas de cartón, para evitar el crecimiento de pastos o cualquier otra maleza, además de conservar la humedad, a los cajones del exterior se le colocaron plásticos en lugar de cartón.

Posteriormente, se hizo la preparación del sustrato, mezclando peat moss, perlita y lombricomposta. La mezcla se hizo manualmente hasta ver que los materiales quedaran bien integrados, buscando que el sustrato tuviera una buena retención de humedad para la germinación y desarrollo de las hortalizas (capacidad de campo). Una vez llenado los cajones con el sustrato, se decidió dividir el cajón en seis secciones iguales, para este trabajo se ocuparon flexómetro, lápiz, clavos, martillo y rafia. La división permitió tener una buena organización para la siembra y tener una mejor diferenciación de las hortalizas establecidas. Las hortalizas sembradas, fueron: acelga, rábano, cilantro, zanahoria, betabel, y frijol ejotero. Cabe destacar que la siembra fue realizada manualmente a siembra directa. Se decidió sembrar un cajón por semana, tanto en el interior como el exterior, para observar las diferencias y la interacción de cada una de las hortalizas y facilitar el control del experimento.

5.8 Germinación

Después de la siembra de la semilla en los cajones, se realizó una revisión diaria para observar la emergencia de las plántulas, se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta que apareció la primera hoja visible sobre el cajón, también se observó la uniformidad de la germinación en cada cajón, esto quiere decir, si la mayoría de las semillas emergieron al mismo tiempo o si hubo diferencias tanto en el interior como en el exterior. Y el tiempo de germinación.

Cuadro 2 Días a germinación de las hortalizas

Hortaliza	Días a germinación en el walipini	Días germinación exterior
Rábano	3 días	7 días
Acelga	7 días	10 días
Cilantro	10 días	21 días
Betabel	8 días	14 días
Zanahoria	8 días	20 días
Frijol Ejotero	6 días	9 días

Fuente: Elaboración propia.

Esta variable permitió identificar y evaluar si el invernadero favorece una germinación más rápida en comparación con el ambiente abierto.

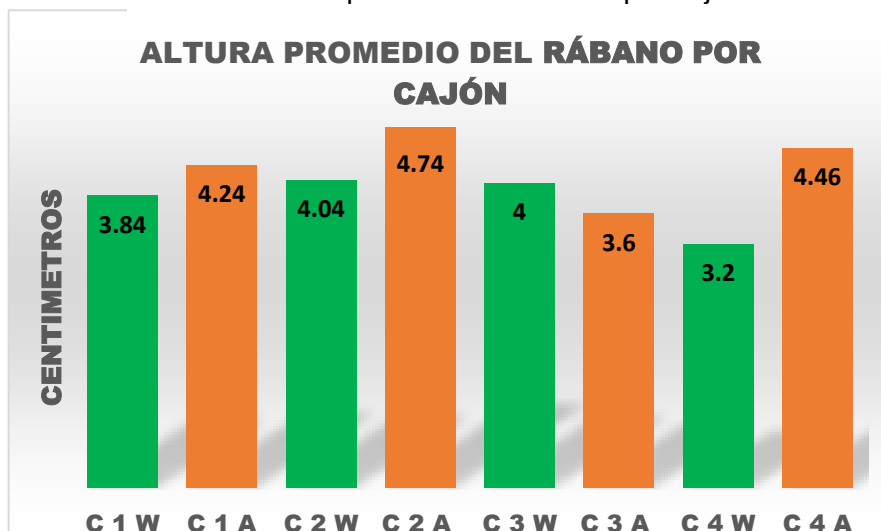
5.9 Producción de hortalizas y rendimiento

Al llegar al momento de la cosecha, se realizó el registro de la producción obtenida para cada cuadrante del cajón, en el caso del frijol ejotero se contó el número de vainas por planta, para las demás hortalizas se consideró el peso fresco por planta. Estas hortalizas fueron cosechadas cuando alcanzaron su mayor tamaño adecuado para el consumo. Posteriormente fueron pesados utilizando una báscula, y registrando el peso. Esta actividad, permitió comparar el rendimiento de las hortalizas tanto en el interior como en el exterior, identificando cuál de las dos opciones obtuvo mejores resultados.

A continuación, se presentan las gráficas que muestran el comportamiento de cada cultivo bajo ambos sistemas de manejo.

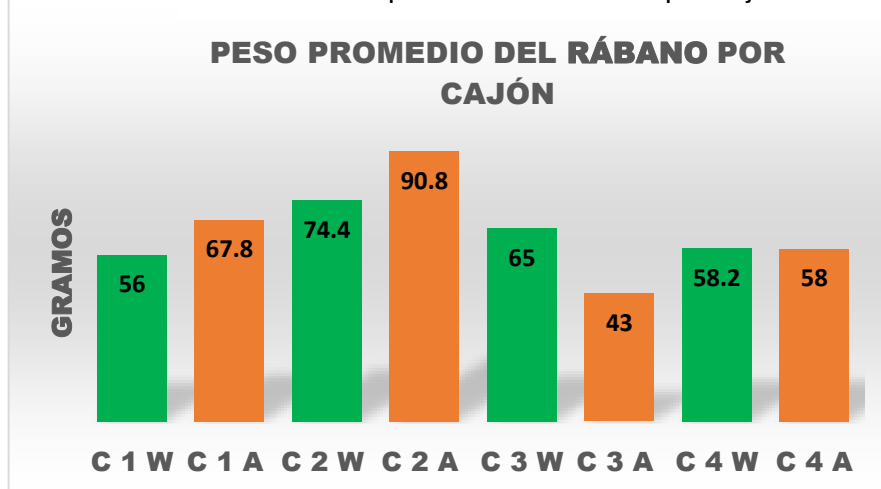
5.9.1 Rábano

Grafica 1 Altura promedio del rábano por cajón



Fuente: Elaboración propia

Grafica 4 Peso promedio del rábano por cajón



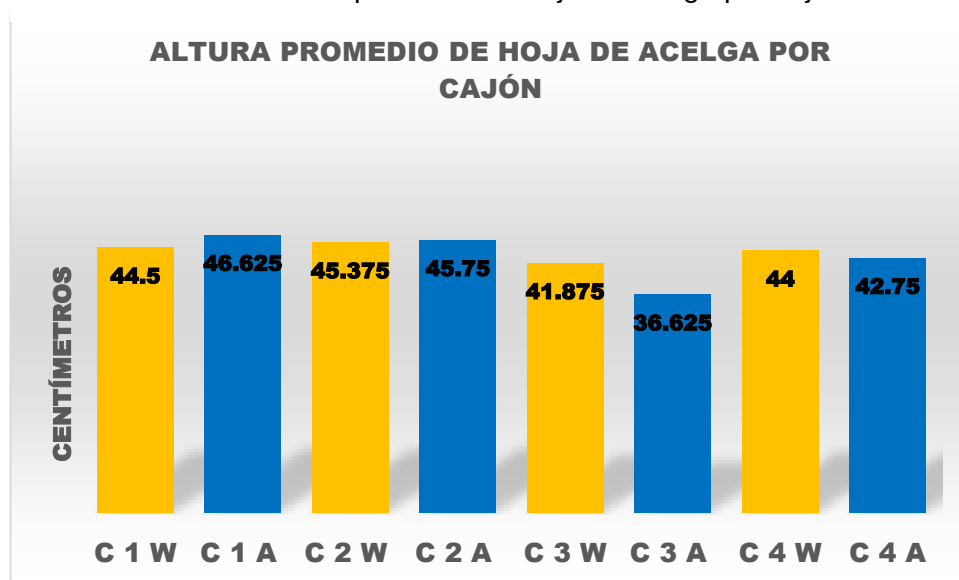
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica número 1 los cajones que estuvieron al aire libre alcanzaron valores cercanos a 5 centímetros, mientras que en el Walipini se mantuvieron entre 3.2 y 4.2 centímetros. Esto indica que el exterior nos favoreció un mayor tamaño de fruto. En cuanto al peso, los cajones de afuera superan los 90 gramos en el cajón 2, mientras que en el Walipini los valores fueron menores alcanzando 43 gramos en el cajón 3. Se considera que el rábano tuvo un mejor

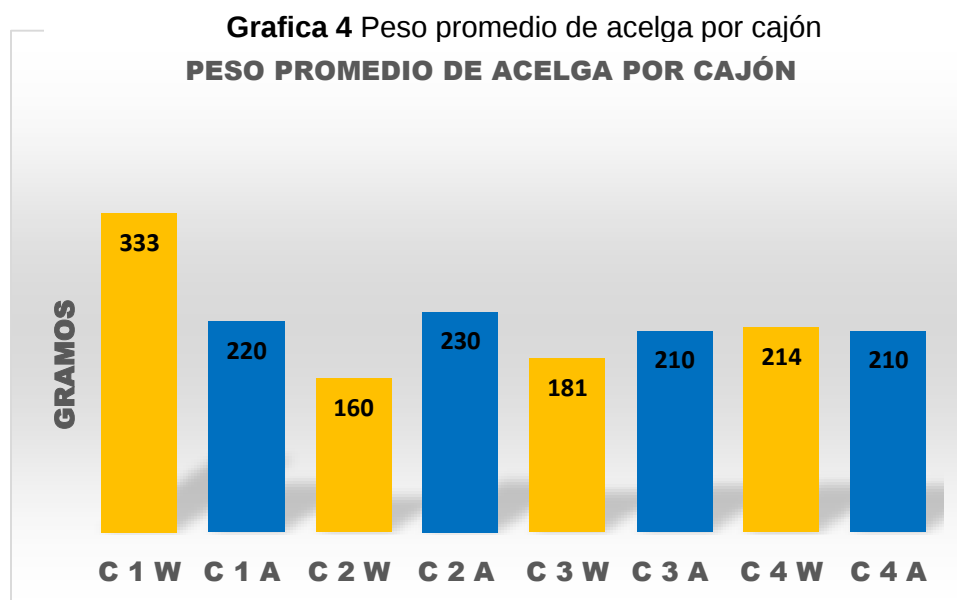
desarrollo en los cajones externos debido a la mayor radiación solar y ventilación. Entonces producir rábanos en este tipo de invernadero no es adecuado para su desarrollo, aunque en este caso la producción de hortalizas es para consumo propio, lo cual nos permite tener gran variedad de alimento fresco.

5.9.2 Acelga

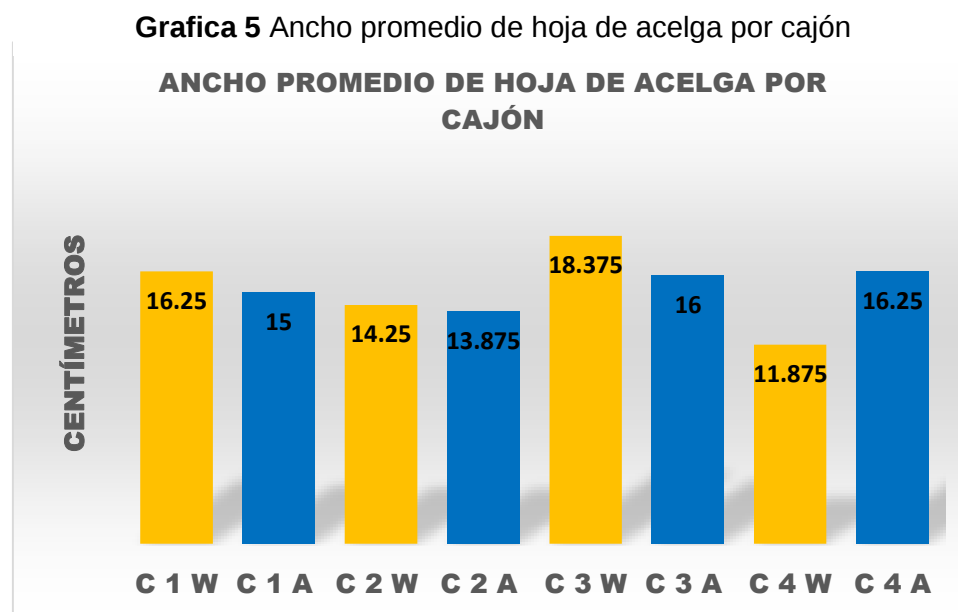
Grafica 3 Altura promedio de hoja de acelga por cajón



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia



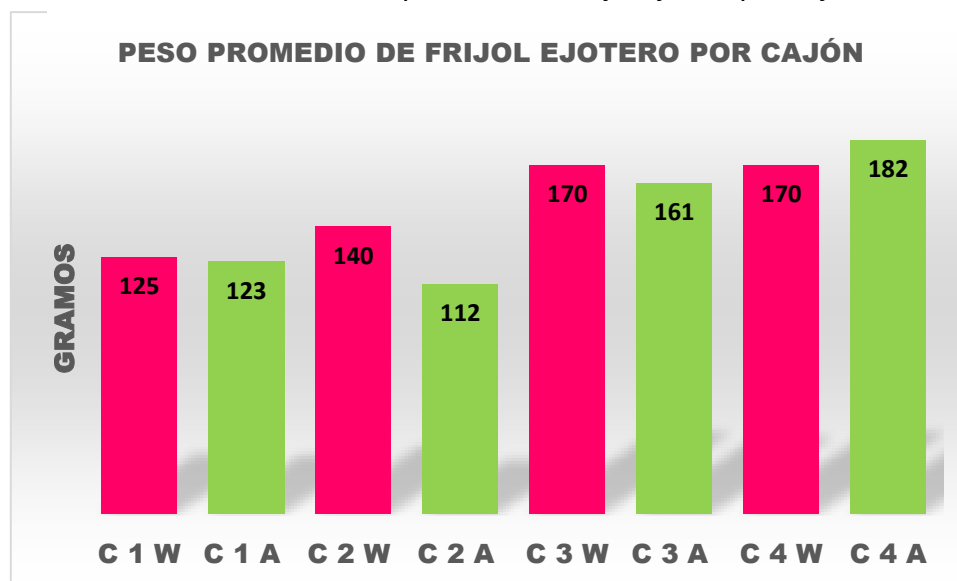
Fuente: Elaboración propia

Analizando las tres gráficas, tenemos que la altura de las hojas fue similar en ambos sistemas, con promedios de 41 a 46 centímetros. sin embargo, el peso y el ancho de las hojas fueron mayores en el Walipini alcanzando hasta 333 gramos y más de 18

centímetros de ancho, esto quiere decir que el invernadero es apto para producir hortalizas de hojas grandes.

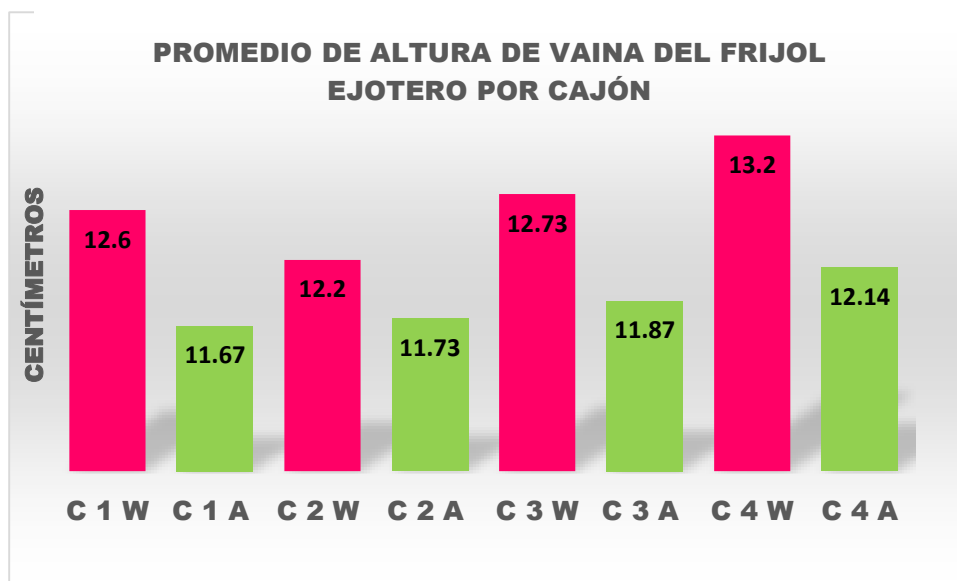
5.9.3 Frijol ejotero

Grafica 6 Peso promedio del frijol ejotero por cajón



Fuente: Elaboración propia

Grafica 7 Promedio de altura de vaina del Frijol ejotero por cajón



Fuente: Elaboración propia

Analizando las gráficas, se observa que el peso de las vainas del frijol ejotero, fue ligeramente mayor en el exterior, con valores de hasta 182 gramos en el caso del cajón 4, mientras que en el Walipini se mantuvo entre 125 y 170 gramos. Por otro lado, analizando la altura de las vainas el resultado fue superior en el Walipini con promedios de más de 13 centímetros frente a los 12 centímetros del exterior. Esto quiere decir que el frijol ejotero se produce en mayor cantidad afuera, pero una mejor calidad en el invernadero.

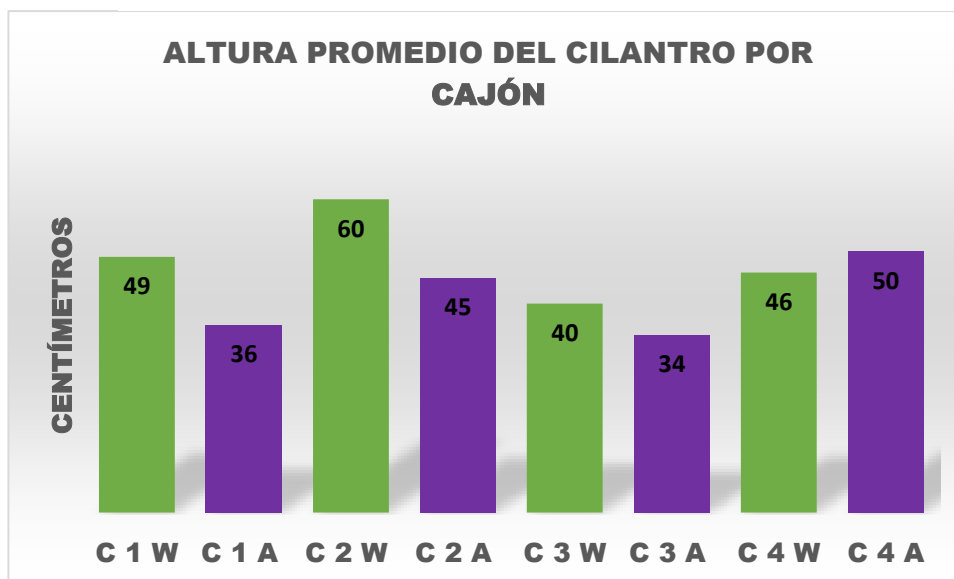
5.9.4 Cilantro

Grafica 8 Peso promedio del cilantro por cajón



Fuente: Elaboración propia

Grafica 9 Altura promedio del cilantro por cajón

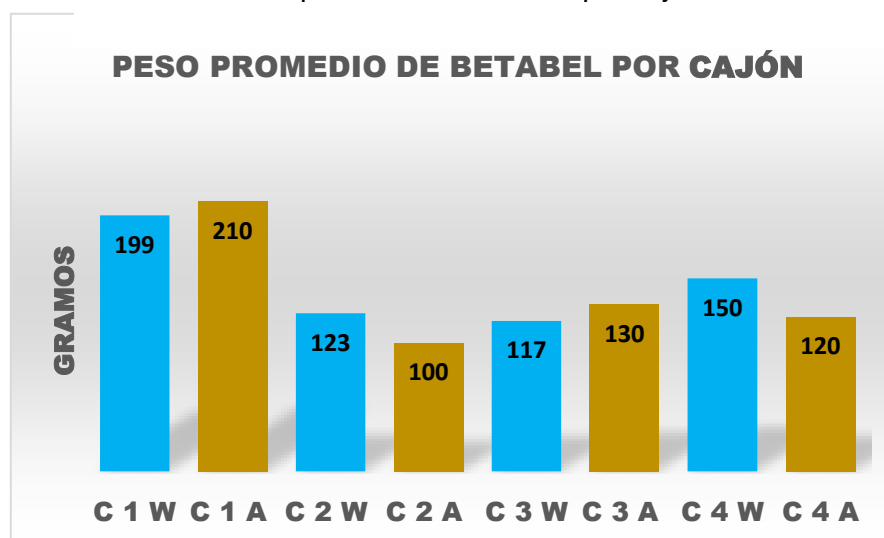


Fuente: Elaboración propia

Considerando las gráficas, se analizó que el cilantro tuvo un mejor desarrollo en el Walipini, alcanzando 60 centímetros de altura y más de 260 gramos de peso en el cajón 2. En el exterior, los valores obtenidos fueron menores tomando en cuenta el cajón 3 que tuvo una altura de 34 centímetros y un peso de 85 gramos para el cajón 1. Se infiere que producir cilantro en un invernadero tipo wallipini favorece el desarrollo y la biomasa del cilantro, gracias a las altas temperaturas y a la humedad relativa del mismo.

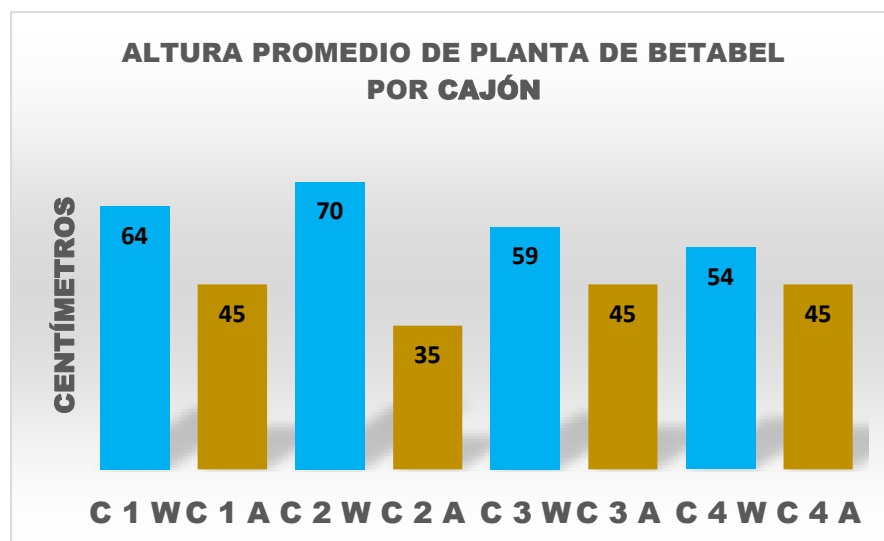
5.9.5 Betabel

Grafica 10 Peso promedio del betabel por cajón



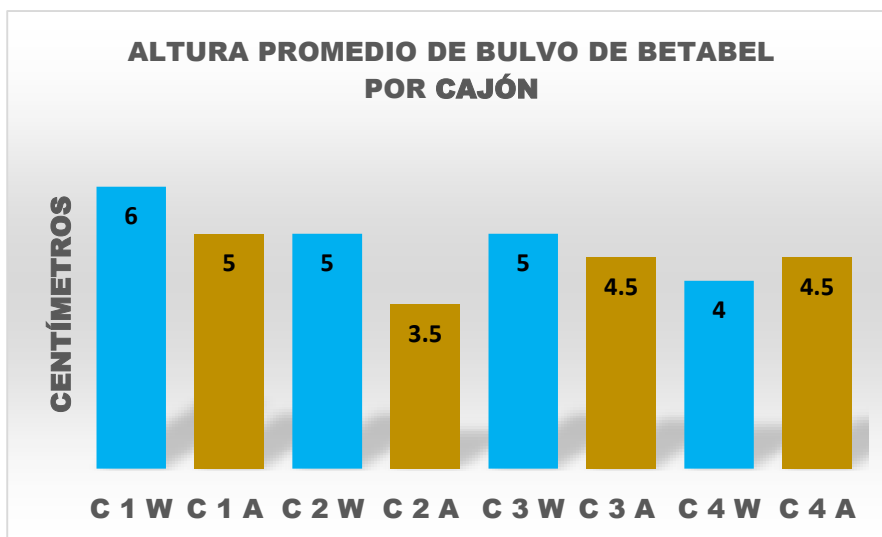
Fuente: Elaboración propia

Grafica 11 Altura promedio de planta de betabel por cajón



Fuente: Elaboración propia

Grafica 12 Altura promedio de bulbo de betabel por cajón

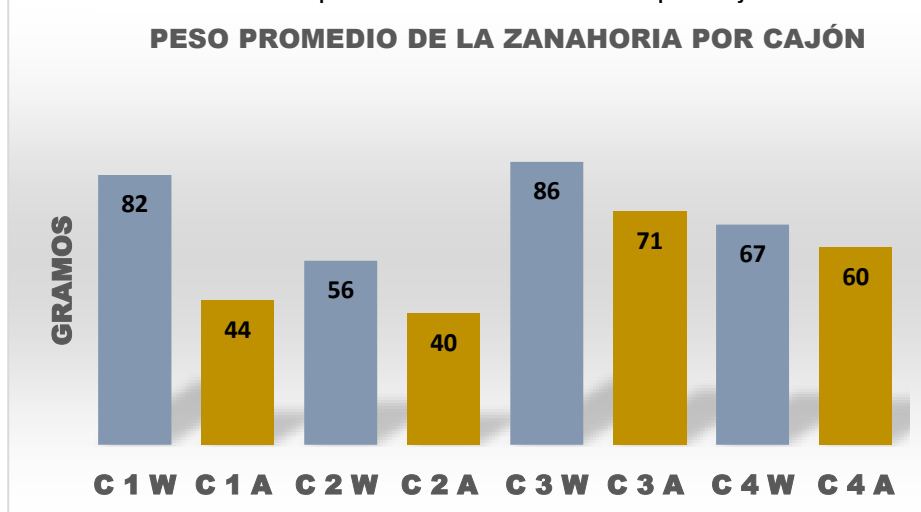


Fuente: Elaboración propia

Analizando las gráficas de betabel se observa que esta hortaliza presenta un comportamiento mixto, en el exterior se registraron pesos mayores hasta 210 gramos para el cajón 1, mientras que en el Walipini las plantas fueron más altas alcanzando 70 centímetros en el cajón 2 y 64 centímetros para el cajón 1, además los bulbos más desarrollados en el walipini, alcanzaron los 5 centímetros en los cajones 2 y 3, y 6 centímetros en el cajón 1. Esto indica que producir betabel en el invernadero mejora y desarrolla la estructura de la planta, aunque el peso final puede ser mayor afuera por la exposición directa del sol.

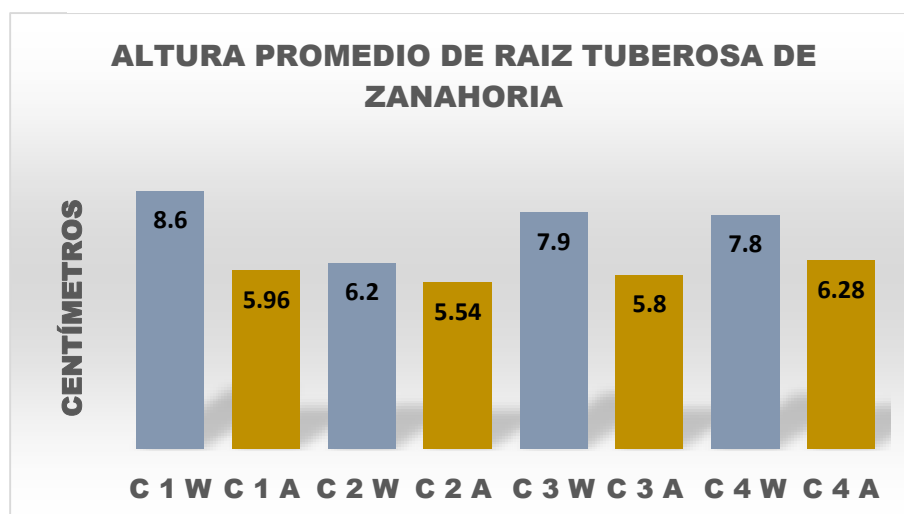
5.9.6 Zanahoria

Grafica 13 Peso promedio de la zanahoria por cajón



Fuente: Elaboración propia

Grafica 14 Altura promedio de raíz tuberosa de zanahoria



Fuente: Elaboración propia

Al comparar los datos obtenidos de la zanahoria, podemos decir que tuvo mejor producción en el Walipini reflejando las raíces tuberosas de hasta 8.6 centímetros para el cajón 1 y 7.9 centímetros para el cajón 3. Además, también tuvo pesos mayores, alcanzando 86 gramos para el cajón 3 y 82 gramos para el cajón 1. En el exterior los

valores fueron menores, lo que demuestra que la zanahoria se adapta mejor a la estabilidad del invernadero, logrando un buen crecimiento más productivo.

5.10 Riego y consumo de agua

Se llevó un registro de los días que se aplicó el riego y la cantidad de agua aplicada por cajón. Se procuró que el manejo fuera similar en ambos casos para que la comparación y determinación de los resultados fuera más adecuada. Además, se observó la frecuencia con la que el sustrato perdía humedad, y se anotó si era necesario regar con la misma frecuencia para cada uno de los casos.

Cuadro 3 Riego y consumo de agua

Sistema de cultivo	Frecuencia de riego	Cantidad de agua aplicada por cajón	Observaciones
Walipini	Diario o cada tercer día	1 regadera (5 litros)	El sustrato conservaba mejor la humedad, por lo que no era necesario regar todos los días.
Exterior	Diario o cada tercer día	2 regaderas (10 litros)	La exposición al sol y al viento, provocaba una pérdida rápida de humedad, obligando a aplicar más agua por cajón.

Fuente: Elaboración propia

Este comportamiento confirma que el Walipini es una herramienta valiosa para impulsar prácticas agrícolas más sostenibles y garantizar la estabilidad en la producción en comunidades rurales con escasez de agua.

5.11 Temperatura y humedad

Durante el experimento se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero subterráneo tipo Walipini, con el objetivo de analizar las condiciones microclimáticas que esta estructura genera en el contexto semiárido de Saltillo, Coahuila.

Los datos obtenidos mostraron que la temperatura interna estaba entre 8.5 °C y 38.2 °C, mientras que en el exterior se registraron valores aproximados de 5 °C a 29 °C. Esta diferencia evidencia que el Walipini logró conservar mejor el calor en las horas de menor temperatura, creando un ambiente más favorable para el crecimiento de los cultivos. Respecto a la humedad relativa, dentro del invernadero se observaron rangos de 39 % a 85 %, y en el exterior se observaron entre 25 % y 60 %. La mayor humedad interna permitió conservar mejor la humedad del sustrato y disminuir la evaporación, lo que se tradujo en una menor necesidad de riego en comparación con los cultivos establecidos al aire libre.

Las variaciones registradas entre ambos ambientes confirman que el Walipini generó un microclima más estable que el exterior, favoreciendo la germinación y el desarrollo de hortalizas como acelga, cilantro, zanahoria y betabel. Además, la conservación de la humedad incrementó la eficiencia en el uso del agua, aspecto importante en las regiones semiáridas donde este recurso es escaso.

En términos generales, los resultados demuestran que el invernadero tipo Walipini constituye una alternativa viable para la producción de hortalizas, ya que mantiene condiciones de temperatura y humedad más adecuadas que las del ambiente exterior, lo que contribuye a mejorar el rendimiento de los cultivos y optimizar el aprovechamiento del agua.

5.12 Costos de construcción

Finalmente se llevó a cabo una estimación de los costos para la elaboración del invernadero tipo Walipini, para ello, se tomaron en cuenta todos los materiales utilizados como duelas, postes, vigas, plástico agrícola, puerta metálica, bisagras, pasador, clavos, pijas, perfil sujetador, alambre zig zag y demás insumos para su elaboración. Además, se consideró el tiempo invertido en la excavación y armado de la estructura, esto fue realizado con el propósito de determinar si este tipo de invernadero puede ser económicamente viable para su implementación en las comunidades rurales.

Cuadro 4 Costos de construcción

Fuente: Elaboración propia con datos de la tesis

Materiales	Cantidad	Medidas	Precio
Postes	10	80cm de largo x 9cm ancho x 9 cm de grosor	\$400
Barrotes	1	1.50 de largo x 9 cm de ancho x 9 cm de grosor	\$45
Duelas	12	2.20 m de largo x 8cm de ancho x 3 cm de grosor	\$420
Vigas	2	4.31 m de largo x 8 cm de ancho x 2 cm de grosor	\$70
Vigas	2	4.40 m de largo x 8 cm de ancho x 2 cm de grueso	\$70
Duela	1	4.90 m de largo x 8 cm de ancho x 2 cm de grosor	\$80
Retranjes	2	52 cm de largo x 6 cm de ancho	\$40
Plástico (polietileno agrícola blanco opaco)	44 m ²	5.50 m de ancho x 8 m de largo	\$ 2650
Puerta PTR (Perfil tubular rectangular)	1	1.90 m de alto x 75 de ancho	\$700
Bisagras	2	4 x 5.3 cm acero plata	\$50
Pasador	1	Mouser 8.5 cm Lock	\$40
Clavos	50	2 pulgadas y media	\$25
Pijas	100	2 pulgadas	\$200
Perfil sujetador (acero galvanizado)	6 de 6 m cada uno	30.42 m de largo	\$1300
Alambre zigzag galvanizado calibre 12	1 rollo	24 .81 m de largo	\$150
Mano de obra	4 personas	-	\$2000
TOTAL	-----		\$8240

Analizando los costos, se considera que realizar el Walipini es una inversión accesible en comparación con otros sistemas de invernaderos convencionales. Este monto demuestra que el modelo es económicamente viable y puede ser adoptado por comunidades rurales con recursos limitados, ofreciendo una alternativa de bajos costos para la producción de hortalizas

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian que el invernadero subterráneo tipo Walipini proporcionó un entorno favorable para el establecimiento y desarrollo de las hortalizas analizadas. La germinación dentro de esta estructura fue más acelerada en comparación con los cultivos sembrados al aire libre, lo cual puede atribuirse a la estabilidad térmica y a la retención de humedad que ofrece. Este hallazgo coincide con lo señalado por Iturry (2002), quien destaca que los Walipinis aprovechan la temperatura natural del suelo para mantener condiciones más estables que las del exterior.

De igual manera, las mediciones de temperatura y humedad relativa confirmaron que el Walipini generó un microclima más favorable para el crecimiento de las plantas. Esto concuerda con lo descrito por la FAO (2019) donde resalta que los sistemas de agricultura protegida contribuyen a disminuir el estrés ambiental y a mejorar las condiciones de desarrollo vegetal.

En cuanto al rendimiento, especies como acelga, cilantro y zanahoria mostraron mejores resultados dentro del Walipini, lo que sugiere que estas hortalizas se benefician de ambientes con mayor disponibilidad de humedad y menor variación térmica. Estos datos respaldan las ventajas de los sistemas protegidos para la producción hortícola en regiones con limitaciones climáticas y escasez de agua.

Por otro lado, cultivos como el rábano y el frijol ejotero tuvieron un desempeño más favorable en condiciones de campo abierto. Esto refleja que la respuesta productiva depende de los requerimientos específicos de cada especie en cuanto a luz, temperatura y ventilación. Aunque el Walipini favoreció la germinación y el desarrollo inicial, el ambiente exterior permitió alcanzar mayores rendimientos en algunas variables.

Un aspecto importante fue la conservación de la humedad del suelo dentro del Walipini, lo que redujo la necesidad de riego y optimizó el uso del agua. Este comportamiento coincide con lo señalado en el marco teórico, donde se afirma que los invernaderos subterráneos disminuyen las pérdidas por evaporación y representan una alternativa viable para la producción agrícola en zonas semiáridas.

Finalmente, durante todo el experimento no se registró presencia de plagas ni enfermedades en los cultivos evaluados, por lo que las diferencias entre tratamientos se relacionaron principalmente con las condiciones ambientales generadas por cada sistema de producción. En conjunto, los resultados confirman la viabilidad del Walipini como una opción sostenible para la producción de hortalizas en regiones semiáridas, cumpliendo con los objetivos planteados en la investigación

CONCLUSIONES

El desarrollo e implementación de este sistema, permitió evaluar la viabilidad técnica, productiva y económica de un invernadero subterráneo, tipo Walipini en las condiciones semiáridas de Saltillo, Coahuila. Los resultados que se obtuvieron demuestran que este sistema constituye una alternativa agrícola sostenible y accesible, capaz de enfrentar los retos que imponen las variaciones climáticas extremas y la escasez de agua en comunidades rurales de las zonas semiáridas.

Se considera que este tipo de invernadero al estar construido la mayor parte debajo de la tierra, genera un clima más estable, caracterizado por temperaturas moderadas, aunque en tiempos de calor llegó a alcanzar una temperatura de los 45°, pero se resalta que tiene una mejor conservación de humedad en comparación con el ambiente exterior, esta condición favoreció el crecimiento y desarrollo de hortalizas como la acelga, el cilantro y la zanahoria, que mostraron un desarrollo más uniforme y mayor biomasa dentro del invernadero. Dichos resultados confirman que la agricultura protegida ofrece ventajas significativas en especies que requieren ambientes controlados para alcanzar su máximo potencial.

Por otro lado, se pudo observar que las hortalizas como el frijol ejotero y el rábano tuvieron un mayor rendimiento y desarrollo en el exterior, lo que significa que la adaptación de cada especie al entorno es un factor determinante en la productividad, el betabel presentó un comportamiento intermedio: se obtuvo mayor peso en las condiciones externas, pero mejor estructura y altura dentro del Walipini. Estos criterios dan a entender que este sistema no es favorable para todas las hortalizas, sino que su efectividad depende de las características de cada cultivo u hortalizas.

En términos generales, el Walipini mostró ventajas en aspectos como la eficiencia en el uso del agua, ya que el invernadero la mayoría de las veces se encontraba con un alto por ciento de humedad (58%- 80%). La investigación confirma la hipótesis planteada: el Walipini genera condiciones más favorables para la

producción de hortalizas en comparación con el cultivo exterior, contribuyendo a mejorar la productividad y la seguridad alimentaria en comunidades rurales.

Además de los beneficios en el crecimiento de las plantas, se comprobó que el Walipini es un sistema económicamente accesible, ya que puede construirse con materiales simples y herramientas básicas que se encuentran en las comunidades rurales. Esto lo convierte en una opción práctica para los pequeños productores que buscan soluciones de bajo costo, pero con buenos resultados. Su uso no solo ayuda a aprovechar mejor el agua y a mantener una producción constante de hortalizas, sino que también fortalece la capacidad de los agricultores para enfrentar los cambios del clima.

Otro de los aspectos más importantes que se consideran es su valor social comunitario. Al ser una tecnología sencilla y fácil de replicar, puede convertirse en una innovación para las escuelas o proyectos comunitarios para producir alimentos frescos de manera continua. Sus bajo costo y facilidad de construcción lo hacen accesible para quienes no tienen la posibilidad de invertir en invernaderos convencionales. Durante todo el periodo de evaluación no se detectaron plagas ni enfermedades que pudieran afectar el crecimiento, desarrollo o rendimiento de las hortalizas cultivadas, tanto dentro del Walipini como en los espacios exteriores. Esta condición favoreció que las variaciones observadas entre los tratamientos se debieran principalmente a las diferencias en el manejo y en las condiciones microclimáticas analizadas en la investigación. Asimismo, evidenció que el sistema de producción empleado mantuvo un ambiente adecuado para el desarrollo saludable de los cultivos.

El invernadero subterráneo tipo Walipini constituye una alternativa tecnológica viable para favorecer la soberanía alimentaria en comunidades rurales de zonas áridas y semiáridas de Coahuila, pues los resultados de la investigación demostraron que este sistema permitió una germinación más rápida en todas las especies, un ahorro de agua cercano al 50 % respecto al cultivo exterior y un mejor desempeño productivo en hortalizas como acelga, cilantro y zanahoria, además de que su costo de construcción fue accesible para pequeños productores; sin embargo, su instrumentación y

promoción enfrentan desafíos vinculados con la disponibilidad limitada de agua, la degradación y baja fertilidad de los suelos, las temperaturas extremas que afectan cultivos como rábano y frijol ejotero, así como limitaciones socioeconómicas derivadas de bajos ingresos y escasa infraestructura, lo que exige capacitación técnica y programas de extensión agrícola que impulsen su adopción; en síntesis, el Walipini es una alternativa sustentable y económica que puede contribuir al acceso a alimentos frescos y locales, siempre que se acompañe de estrategias que permitan superar las restricciones hídricas, edáficas y sociales propias de las regiones semiáridas.

Por último, el walipini demostró ser un sistema agrícola con gran potencial en zonas áridas y semiáridas, ya que nos ofrece un equilibrio entre productividad, sostenibilidad y accesibilidad económica. Aunque no todos los cultivos respondieron de la misma manera, la mayoría mostro ventajas claras dentro del sistema, confirmando que es una herramienta útil para enfrentar los retos de la escasez de agua, el cambio climático y la necesidad de garantizar alimentos frescos en comunidades rurales, por lo cual se pudo cumplir todos los objetivos planteados.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se enlistan se basan en la experiencia de este trabajo:

- Para la construcción de este sistema se debe elegir un espacio firme, con buena retención de humedad y sin riesgo de inundaciones o deslaves.
- Se debe de ubicar el Walipini en un lugar que reciba la mayor cantidad de luz solar, especialmente en invierno.
- Utilizar materiales accesibles: madera, herramientas básicas y plásticos resistentes para la cubierta, reduciendo costos y facilitando la réplica en comunidades rurales.
- De preferencia para la cubierta utilizar malla sombra o plásticos delgados, esto con la finalidad de que los rayos del sol entren directamente y no se genere la etiolación.

- Incorporar canales que eviten la acumulación de agua dentro de la estructura, si esto no se realiza, puede ocasionar un deslave e inundación.
- Empezar a sembrar con hortalizas de ciclo corto y alta demanda como, cilantro, acelga y zanahoria, que tuvieron un buen rendimiento dentro del Walipini.
- Aprovechar tanto el interior como el exterior del invernadero, ya que especies como el rábano y el frijol ejotero crecieron mejor afuera.
- Llevar registros de temperatura, humedad y consumo de agua para ajustar el manejo según las necesidades de cada cultivo.
- Implementar sistemas de riego por microaspersión para ahorrar agua y mantener la humedad adecuada.
- Implementar la rotación de cultivos en cada ciclo para evitar el desgaste del suelo o del sustrato como se realizó en este caso.
- Organizar talleres y pláticas en donde se enseñe la construcción y el manejo del invernadero paso a paso.
- Fomentar la participación de familias, escuelas o grupos comunitarios convirtiéndolo en un recurso compartido para producir alimentos frescos.
- Se sugiere comenzar con un walipini de 3 x 4 m y ampliar la superficie o replicar más unidades conforme se obtengan los resultados.
- Integrar en las comunidades técnicas de permacultura, compostaje y manejo de suelos para fortalecer la resiliencia agrícola.
- Buscar respaldo de los gobiernos, o programas de desarrollo rural para impulsar la adopción de esta tecnología en comunidades rurales.
- Si se replica este sistema, implementar pequeñas ventanas en la parte superior del Walipini para mantener un ambiente más equilibrado para las hortalizas.
- Aplicar materiales naturales como rastrojo o residuos vegetales sobre el suelo, esto ayuda a conservar la humedad y a disminuir la aparición de malezas.
- Sembrar semillas locales que ya están acostumbrados a las condiciones semiáridas, lo que aumenta las posibilidades de desarrollar mejor y resistir al clima.

- Enriquecer el suelo con composta o lombricomposta, esto mejora la calidad de las hortalizas y reduce la necesidad de aplicar productos químicos.
- Revisar constantemente la cubierta plástica y toda la estructura, con la finalidad de que siempre este en buen estado y funcione correctamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado-Chávez, J. A., Hernández-Martínez, M., Sandoval-Villa, M., Castañeda-Saucedo, M. C., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Vargas-Canales, J. M. (2020). Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1737–1748. Consultado en: [Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas](#)

Bartholomew, M. (1981). *Square Foot Gardening*. Emmaus, PA: Rodale Press.

Bartholomew, M. (2005). *All New Square Foot Gardening*. Emmaus, PA: Rodale Press

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) & Universidad Autónoma Chapingo (UACH). (2013). *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final.* SEMARNAT / Comisión Nacional Forestal / Universidad Autónoma Chapingo. Consultado en: [linea-base-nacional-de-degradación-de-tierras-y-desertificacion.pdf](http://linea-base-nacional-de-degradacion-de-tierras-y-desertificacion.pdf)

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *Water scarcity in agriculture: A global framework for action.* Roma: FAO. Consultado en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/GlobalFRA-brochure.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Programa mundial sobre agricultura sostenible en zonas áridas.* Comité de Agricultura, 27º período de sesiones. Consultado en: <https://www.fao.org/about/meetings/coag/coag-27/documents/es/> código interno **ND412**

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana.* México: Instituto de Geografía, UNAM.

García-Sánchez, E. I., Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., & Aguilar-Ávila, J. (2018). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(81), 1–23. Consultado en: [Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México | Cuadernos de Desarrollo Rural](#)

Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G., & Sánchez-González, A. (2012). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(2), 239–251. Consultado en: [Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente](#)

- Iturry, L. (2002).** Manual de Construcción y Manejo del Walipini y Panqar Huyu. Benson Agriculture and Food Institute - Brigham Young University. Consultado en: <https://es.scribd.com/document/891503135/Manual-de-Construccion-y-Manejo-Del-Walipini>
- Lluch-Cota, S., Aragón-Noriega, E., & Bautista-Romero, J. (2022).** Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 8(2), 45–62. Consultado en: https://www.cibnor.gob.mx/revistas/pdfs/vol8num2/4_AGRICULTURA.pdf
- López-García, J., Gómez-Merino, F., & colaboradores. (2023).** Costo-beneficio de un sistema de cultivo protegido de tomate en San Quintín. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(5), 109–124. Consultado en: [Costo-beneficio de un sistema de cultivo protegido de tomate en San Quintín](#)
- Padilla-Bernal, L. E., Lara-Herrera, A., & Vélez-Rodríguez, A. (2020).** Sustentabilidad y desempeño ambiental de la agricultura protegida: el caso de Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), 289–302. Consultado en: [Sustentabilidad y desempeño ambiental de la agricultura protegida: el caso de Zacatecas | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas](#)
- Revista Mexicana de Agro negocios / Redalyc. (2020).** Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agro negocios*, 24(2), 345–360. Consultado en: [Características de la agricultura protegida y su entorno en México revista mexicana de agro negocios](#)
- Romantchik Kriuchkova, E., López Cantens, G., Chávez Aguilera, N., (2018).** Diseño e instalación de un sistema de control automático de malla sombra, caso cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(Esp. 21), 4328–4340. [Diseño e instalación de un sistema de control automático de malla sombra, caso cultivo de fresa \(Fragaria sp.\) | Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas](#)

Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Camacho-Vera, J. H., Aguilar-Ávila, J., & Ocampo-Ledesma, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827–840. Consultado en: [Redalyc.Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México](#)

ANEXOS

Figura 1 Colocación de cartón en la base del cajón



Fuente: Imagen propia, 2026.

Figura 2 Incorporación de sustrato



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 3 Nivelación del sustrato



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 4 Humedecer el sustrato



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 5 Incorporación de composta



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 6 Mezcla de todos los componentes



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 7 División del cajón



Fuente: Imagen propia

Figura 8 Ubicación de las semillas a sembrar



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 10 Siembra



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 11 Identificación de las semillas



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 12 emergencia de todas las hortalizas



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 13 Desarrollo de las hortalizas



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 14 Desarrollo de la acelga



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 15 Desarrollo del betabel



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 16 Desarrollo del rábano



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 17 Desarrollo del frijol ejotero



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 18 Corte del frijol ejotero



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 19 Corte del cilantro



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 20 Corte de acelga



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 21 Foto en el walipini



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 22 Altura del rábano (Walipini)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 23 Altura del rábano (exterior)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 24 Ancho de la acelga



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 25 Cosecha de rábanos



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 26 Acelga y cilantro (Walipini)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 27 Rábanos del Walipini



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 28 Cilantro, exterior y walipini



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 29 Peso del rábano (exterior)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 30 Peso del frijol ejotero



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 31 Peso de la acelga



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 32 Cosecha de betabel



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 33 Peso del cilantro (exterior)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 34 Temperatura máxima



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 35 temperatura mínima



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 36 Temperatura (medio día)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 37 Temperatura máxima



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 38 Cosecha de zanahoria (Walipini)



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 39 Crecimiento de las hortalizas



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 40 Antes de la cosecha



Fuente: Imagen propia, 2026

Figura 41 Antes de la cosecha



Fuente: Imagen propia, 2026