

Proyecto de agricultura sustentable bajo cubierta

Sustainable agriculture project under cover

DOI: 10.53499/sfjeasv4n4-003

Received in: Aug 1st, 2024

Accepted in: Sep 30th, 2024

Erika Velázquez Lavariega

Arquitecto

División de Ciencias y Artes Para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
Alcaldía Azcapotzalco. Mexico
erikavlavariega1979@gmail.com

Héctor Valerdi Madrigal

División de Ciencias y Artes Para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
Alcaldía Azcapotzalco. Mexico
hvm@azc.uam.mx

Jazmín Ovalle Pérez

Division de Ciencias y Artes Para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente,
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
Alcaldía Azcapotzalco. Mexico
jazatl_7@hotmail.com

RESUMEN

El proyecto de un invernadero con sistema agrovoltaico, cosecha de agua pluvial e hidroponía como métodos sustentable, sienta las bases para la discusión sobre métodos de agricultura sostenible.

El contexto actual de agricultura sostenible es crucial para comprender los desafíos y oportunidades que existen en el sector agrícola. Con la creciente conciencia sobre las cuestiones ambientales y la necesidad de prácticas más respetuosas con el medio ambiente, la agricultura sostenible ha ganado importancia en los últimos años.

En este proyecto se explora el panorama actual de la agricultura sostenible, incluida la creciente demanda de productos orgánicos, el impacto de las prácticas agrícolas convencionales en el medio ambiente y la necesidad de alternativas más sostenibles y eficientes. Al comprender el contexto de la agricultura sostenible, podemos apreciar mejor la importancia de implementar métodos innovadores y ecológicos, como los sistemas agrovoltaicos, la recolección de agua de lluvia y la hidroponía. Estos métodos no sólo apuntan a reducir la huella ambiental de la agricultura, sino que también ofrecen soluciones prácticas para mejorar la productividad y la eficiencia de los recursos.

Al integrar estas prácticas sostenibles en las operaciones agrícolas, podemos abordar los desafíos del cambio climático, la escasez de agua y la seguridad alimentaria y al mismo tiempo promover ecosistemas y comunidades saludables.

Palabras clave: invernadero, agrovoltaico, hidroponía, agricultura, sostenible

ABSTRACT

The project of a greenhouse with an agrovoltaic system, rainwater harvesting and hydroponics as sustainable methods, lays the foundation for the discussion on sustainable agriculture methods.

The current context of sustainable agriculture is crucial to understanding the challenges and opportunities that exist in the agricultural sector. With the growing awareness of environmental issues and the need for more environmentally friendly practices, sustainable agriculture has gained importance in recent years.

This project explores the current landscape of sustainable agriculture, including the growing demand for organic products, the impact of conventional agricultural practices on the environment, and the need for more sustainable and efficient alternatives. By understanding the context of sustainable agriculture, we can better appreciate the importance of implementing innovative and eco-friendly methods, such as agrovoltaic systems, rainwater harvesting, and hydroponics. These methods not only aim to reduce the environmental footprint of agriculture, but also offer practical solutions to improve productivity and resource efficiency.

By integrating these sustainable practices into agricultural operations, we can address the challenges of climate change, water scarcity, and food security while promoting healthy ecosystems and communities.

Keywords: greenhouse, agrovoltaic, hydroponics, agriculture, sustainable

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se topa con retos considerables en lo que respecta a la sostenibilidad, es crucial implementar estrategias que reduzcan el impacto ecológico y fomenten la eficiencia.

La implementación de un invernadero que integre captación de agua pluvial, energía agrovoltaica e hidroponía representa una solución innovadora y sostenible para enfrentar los retos agrícolas actuales. La investigación en este ámbito está plenamente justificada debido a los beneficios ambientales, sociales y económicos que ofrece: uso de los recursos, incremento de la productividad y la calidad, evitar la escases de agua, promoción de la sostenibilidad económica, generación de conocimiento y replicar el modelo.

Estas tecnologías brindan soluciones revolucionarias para la elaboración de alimentos, mientras disminuyen la huella ambiental. Es fundamental la sostenibilidad agrícola para salvaguardar los recursos naturales y asegurar la seguridad alimentaria a largo plazo.

La agricultura sostenible es esencial para comprender el cambio hacia prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente y socialmente responsables. Dicha practica tiene como objetivo minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente

preservando al mismo tiempo los recursos naturales y la biodiversidad.

También busca mantener y mejorar la calidad del suelo, el agua y el aire, y promover el bienestar de los agricultores y sus comunidades. Mediante la implementación de técnicas agrícolas sostenibles, como la rotación de cultivos, los fertilizantes orgánicos y el manejo integrado de plagas, los agricultores pueden reducir su dependencia de productos químicos nocivos y promover ecosistemas más saludables.

Además, este tipo de agricultura enfatiza la importancia del trato ético y justo a los trabajadores agrícolas, garantizando su seguridad y bienestar.

¿Qué es la agricultura sustentable y por qué es tan importante hoy en día?

Es un enfoque de producción agrícola que busca satisfacer las necesidades actuales de alimentos, aprovechando al máximo el agua, el suelo y los nutrientes, minimizando su desperdicio.

Tiene múltiples propósitos que benefician tanto a las personas como al medio ambiente, garantiza el acceso a productos agrícolas libres de químicos excesivos ayudando a conservar los suelos fértiles, agua limpia y ecosistemas saludables

Para ser sostenible, la agricultura debe ser suficiente para satisfacer las necesidades de alimentos y vestimenta de las generaciones presentes y futuras a un precio razonable para los consumidores apoyando la economía del sector agrícola sin afectar la salud del medio ambiente o la cantidad de recursos naturales en riesgo. Por lo anterior se puede decir que es un sistema de producción agrario que ahorra recursos, es respetuoso con el medio ambiente y económicamente eficiente.

La agricultura sostenible surgió como resultado de los graves impactos ambientales de la agricultura convencional, como la disminución de los insectos de los cultivos, que tiene un grave impacto en la producción agrícola, la necesidad de desarrollar sistemas de cultivo alternativos que satisfagan mejor las necesidades de la sociedad actual; se requieren métodos de producción más orgánicos y menos agresivos ambientalmente, y que sean social y económicamente aceptables.

Hoy en día, las tecnologías agrícolas sostenibles son una buena alternativa a la agricultura convencional.

La agricultura protegida y sustentable tiene como objetivo optimizar la producción de alimentos mediante el uso eficiente de los recursos naturales, mientras se minimiza el impacto ambiental y se asegura la sostenibilidad a largo plazo.

Los principales objetivos son: Aumentar la productividad, uso eficiente de los recursos, minimizar el impacto ambiental, promover la sostenibilidad económica,

adaptación al cambio climático y de esta manera fomentar la seguridad alimentaria.

La combinación de estas prácticas protege tanto el medio ambiente como los ingresos de los agricultores, asegurando que la producción agrícola sea sostenible para las generaciones futuras.

2 MARCO TEÓRICO

1 PROBLEMÁTICA

La cuestión de la demanda de alimentos y la escasez de agua es un desafío crucial y complejo que afecta a innumerables comunidades. Para comprender verdaderamente la gravedad de este problema, es esencial profundizar en la importancia de la seguridad alimentaria. Lo cual, no consiste solo en tener suficiente para comer, sino también en garantizar que los alimentos sean seguros, nutritivos y accesibles para todos.

Por otra parte, el acceso al agua potable limpia y segura es un derecho humano fundamental, pero muchas personas aún se ven privadas de esta necesidad básica. Estos factores están estrechamente interrelacionados, ya que el agua es vital para la producción agrícola y el procesamiento de alimentos. Por lo tanto, la interacción entre la demanda de alimentos, la escasez de agua y la necesidad de soluciones sostenibles es un asunto que requiere atención.

Del mismo modo, el acceso al agua potable es esencial para consumo humano, preparación de alimentos y fines sanitarios. Lamentablemente, muchas personas en todo el mundo luchan por satisfacer estas necesidades básicas.

A medida que la población sigue creciendo, también aumenta la demanda de alimentos y agua. Al mismo tiempo, factores como la degradación ambiental, la escasez de agua y los fenómenos meteorológicos extremos están afectando la disponibilidad y distribución de estos recursos.

Es fundamental abordar estos desafíos para garantizar la suficiente producción de alimentos y disponibilidad equitativa de agua potable. Al comprender la importancia de la seguridad alimentaria y el acceso al agua, se puede trabajar en encontrar soluciones sostenibles a estos problemas apremiantes.

2 AGRICULTURA SUSTENTABLE BAJO CUBIERTA

El concepto de agricultura sostenible bajo cubierta ha ganado importancia en los contextos rurales debido a su potencial para proporcionar un entorno controlado para la producción de cultivos.

Esta técnica implica el uso de estructuras físicas como invernaderos tipo túnel para proteger los cultivos de factores externos como el clima extremo, las plagas y las enfermedades, al tiempo que se optimiza la gestión del agua y los recursos.

La agricultura sostenible bajo techo tiene como objetivo minimizar el impacto ambiental de las actividades agrícolas al reducir el uso de agua, la aplicación de pesticidas y fertilizantes y la erosión del suelo. Además, ofrece la oportunidad de extender las temporadas de crecimiento y aumentar los rendimientos de los cultivos, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico en las zonas rurales.

En general, esta practica bajo techo representa una solución viable para mejorar la eficiencia y la resiliencia de la producción agrícola al tiempo que se abordan los desafíos ambientales y socioeconómicos.

Figura 1. Invernadero con sistema agrovoltaico en la estructura superior en Israel, Dic. 13 2022



Fuente: <https://www.pv-magazine-latam.com/2022/12/13/nueva-tecnologia-agrovoltaica-para-invernaderos/>

3 ANÁLISIS DEL SITIO

Se pretende desarrollar un proyecto en México ubicado en Tonalapa, en la provincia de Tetela de Ocampo, al Norte de la sierra de Puebla.

Figura 2. Panorámica del Mpio. de Tetela de Ocampo Puebla



Fuente: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/>

Tetela" es un nombre de origen náhuatl, que contiene los elementos tetl y tla: aque significa "lugar de muchos cerros". Es decir, montículos que contienen tesoros enterrados. Fue fundada en 1219 por cuatro tribus chichimecas que venían por el poniente, adoradores del Huitzilopochtli, que combatían en las Xochiyaótl (guerras floridas), con Zacatlán y Tlaxcala (Durango, 2019).

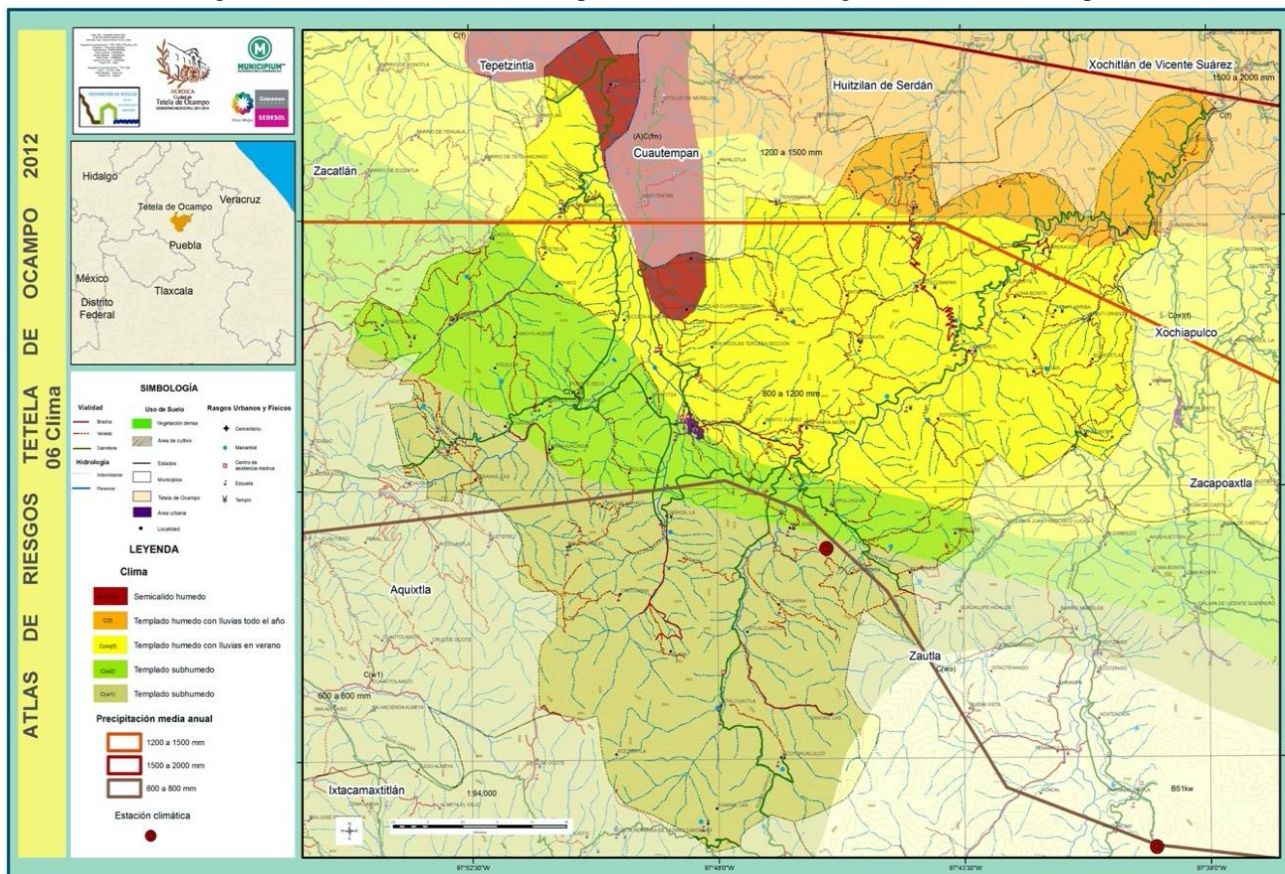
El Municipio se ubica dentro de la zona de climas templados en la Sierra Madre Oriental; conforme se avanza de Sur a Norte, se incrementa la humedad, identificándose los siguientes climas según Köppen (Municipium, 2012).

Tabla 1. Elementos del clima en Tetela según Köppen

Tipo de Clima	Temperatura media anual	Temperatura del mes mas seco	Precipitación del mes mas seco	% de precipitación de lluvia invernal
Templado Subhúmedo C(w1), C(w2) con lluvias en verano	12° – 18°C		Menor de 40 mm	Menos de 5
emplado húmedo C(f), C(m)(f) con lluvia todo el año	12° – 18°C	-3 y 18°C	Menor de 40 mm	Menos de 18
Semicálido subhúmedo (A)C(fm)con lluvia todo el año	Mayor de 18°C	-3 y 18°C	Menor de 40 mm	Menos de 18

Fuente: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21172.pdf

Figura 3. Climas de Tetela de Ocampo Fuente: Atlas de Riesgos de Tetela de Ocampo



Fuente: https://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2012/21172_TETELA.pdf

4 INVERNADERO

Está previsto el uso del invernadero, con agua de escorrentía en el cenital dirigida a tanques para su posterior uso en riego, que también se utilizaría en hidroponía para mantener la dinámica del agua y evitar la acumulación de algas.

Se utiliza un invernadero tipo capilla o diente de sierra, el cual tiene una pendiente, que comenzó a utilizarse en zonas con muy poca precipitación y altos niveles de radiación.

La pendiente de la cubierta se estudió en función de la incidencia vertical de la luz del mediodía en invierno, con el objetivo de aprovechar al máximo la radiación solar incidente.

Estos invernaderos tienen un solo techo con un ángulo de inclinación entre 5° y 15° (orientado este-oeste, con el techo mirando al sol - norte para el hemisferio sur).

La ventilación suele ser fija y se aborda a través de aberturas ubicadas en el centro de cada arco estructural a lo largo de la cubierta. Las aberturas permiten la ventilación natural y la salida del aire caliente.

El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos crea lo que se llama un diente de sierra. La necesidad de liberar precipitaciones determina la pendiente de la zona de acumulación desde el medio hasta los extremos.

Figura 4. Invernadero tipo capilla o diente de sierra ubicado en Tonalapa Puebla

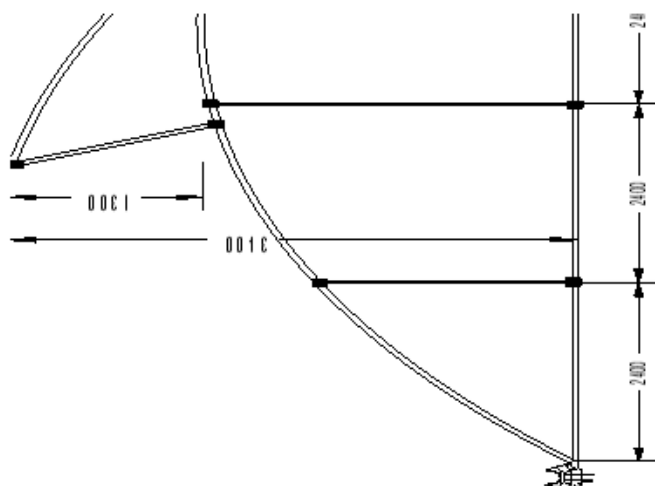


Fuente: Tomada en sitio, Arq. Erika Velázquez

Las dimensiones Estándares de este tipo de invernaderos son las siguientes:

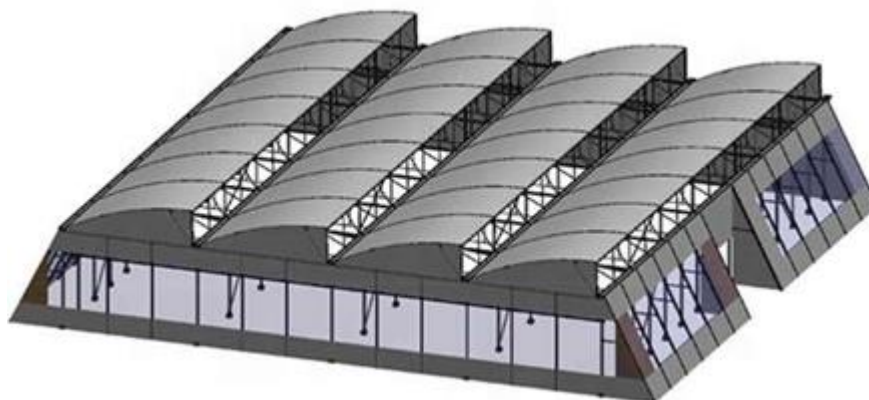
- Ancho: 9.60 m.
- Altura del pilar: 6.4-6.90-7.40 m.
- Altura debajo canal: 4-4.50-5 m.
- Distancia entre pilares: 4-5 m. (internos). 2-2.50 m. (externos).
- Bastidores de refuerzo perimetrales.

Figura 5. Dimensiones de la techumbre de un invernadero tipo sierra



Fuente: <https://www.horticultivos.com/>

Figura 6. Esquema de invernadero tipo sierra



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/High-quality-saw-tooth-greenhouse-for-62071068187.html>

5 COSECHA DE AGUA PLUVIAL

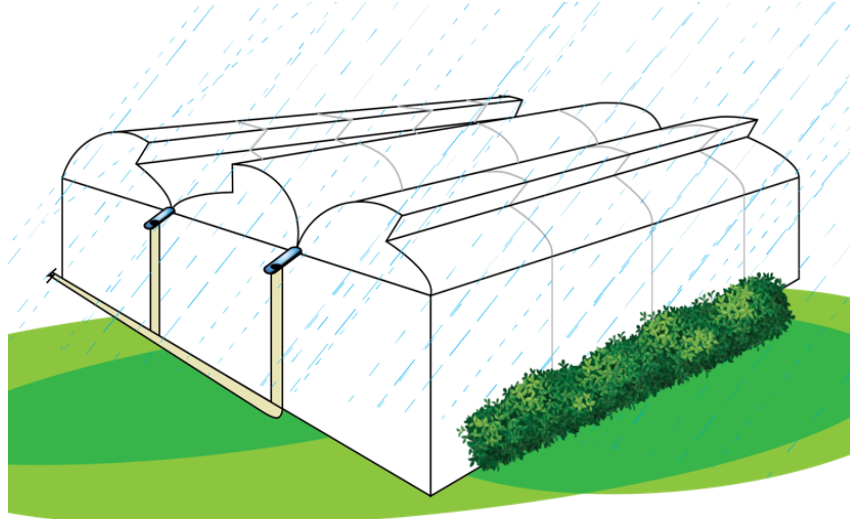
La práctica de la recolección de agua en invernaderos desempeña un papel crucial en la maximización de los recursos hídricos y en la garantía de la sostenibilidad de la producción agrícola. Al comprender la importancia de la captura y el almacenamiento de agua en invernaderos, se puede abordar los desafíos de la escasez de agua y contribuir a prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente (Redalyc).

Existen diversos métodos y tecnologías disponibles para la recolección de agua en invernaderos, incluido el uso de agua de lluvia, condensación y escorrentía de riego.

Los beneficios de integrar sistemas de captación de agua en las operaciones de invernadero pueden ser, la reducción de la dependencia de fuentes de agua externas, la minimización de la erosión del suelo y la conservación de los recursos hídricos.

La práctica de recolección de agua de lluvia en invernaderos, ha ganado atención debido a su potencial para mejorar la eficiencia hídrica y la sostenibilidad en la agricultura (Repository, 2023).

Figura 7. Sistema de instalación de en invernadero tipo sierra



Fuente: Dibujo realizado en Adobe Illustrator realizado por DCG Juan Francisco, basado en la guía práctica de la cosecha de agua pluvia. Water_harvest_sp.pdf

Figura 8. Bajadas de agua pluvial en el invernadero



Fuente: Tomada en sitio, Arq. Erika Velázquez

Es un hecho constatado que el agua de riego se utiliza en prácticamente todo el invernadero, por lo que cualquier fase que facilite la disminución del importe de la factura del agua, significará un ahorro económico, y la posibilidad de invertir ese dinero en otros conceptos (mejora de maquinaria, innovación de maquinaria, contratar técnicos especializados en cultivos, etc.).

Principalmente, existen tres momentos para "cosechar" el agua de lluvia de las cubiertas: captar, almacenar y distribuir.

La cantidad de agua que se puede captar de una cubierta es directamente proporcional a su superficie, aunque varía dependiendo la época del año.

También aparece el factor de eficiencia del sistema de captación y almacenamiento, si se analiza el ejemplo de la cantidad de agua que se pueda cosechar de la cubierta del invernadero plástico, se llegará a la conclusión de que si se dispone de un sistema de recogida del agua de lluvia a lo largo de la estructura e incluso a veces se utiliza como acumulador un film plástico sobre los arcos de la estructura principal, la cantidad puede ser muy significativa (UMSA).

6 SISTEMA AGROVOLTAICO

El cambio climático es la mayor amenaza para el futuro de la humanidad, ya que las emisiones de gases de efecto invernadero provocan el calentamiento global, siendo el consumo de combustibles fósiles y las actividades del sector agrícola sus dos mayores contribuyentes. Si la solución pasa por las energías renovables y la agricultura sostenible, ambas se pueden combinar, por eso se decidió incluir la energía agrovoltaica en el proyecto, ya que ayuda a que el invernadero sea sustentable.

En la actualidad, la energía solar fotovoltaica juega un papel fundamental para descargar la red eléctrica mediante una microred. Con el objetivo de que la energía agrovoltaica satisfaga las necesidades de energía, es necesario conocer el consumo de cada uno de los sistemas que se integrarán. Además, de diseñar un sistema de almacenamiento para intentar abastecer todas las demandas del invernadero (Cuenca, A. D., Oña, C. E., Suquillo, I. F., & Miniguano, H. S., 2023).

Figura 9. Invernadero con paneles solares



Fuente: <https://www.pv-magazine-latam.com/2023/02/10>

Los invernaderos para la producción de alimentos requieren mucha energía. Los techos de los invernaderos suelen ser espacios que no se aprovechan y la mayor parte del uso de energía de los invernaderos proviene de la calefacción y la refrigeración. El objetivo es desarrollar un techo cubierto con paneles solares flexibles, haciendo que el invernadero sea autónomo en electricidad y cubriendo sus necesidades energéticas sin necesidad de utilizar la red (esenergia, 2022).

Figura 10. Fotografía tomada de oeste a este con el techo del invernadero inclinado de norte a sur.



Fuente: Tomada en sitio, Arq. Erika Velázquez

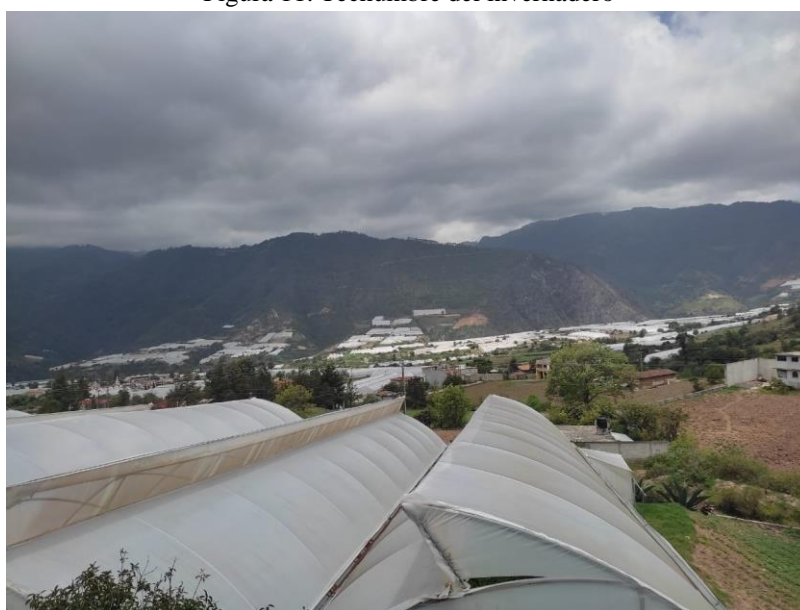
Debido a la pendiente y orientación de la estructura, se pueden colocar paneles solares para recolectar energía solar la cual se utilizará para alimentar los equipos del invernadero.

Así es como puede producir energía agrovoltaica en la techumbre del invernadero, dado que el concepto agrovoltaico es un sistema que implica utilizar el mismo espacio para producir productos agrícolas y energía solar. Es decir, en una misma superficie conviven cultivos y placas solares. Hay muchas vías de investigación para mejorar la productividad y la eficiencia de los paneles solares, las cuales siguen produciendo resultados alentadores (bbva.com, 2022).

La adopción de tecnología de generación de energía fotovoltaica para la agricultura ha sido dinámica en casi todas las regiones del mundo. Según el Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energía Solar, la capacidad instalada en agricultura fotovoltaica ha aumentado con la implementación de programas de subsidios gubernamentales en Japón (2013), China (2014), Francia (2017) y Estados Unidos (2018) (hfmexico.mx, 2021).

México tiene uno de los niveles más altos de radiación solar del mundo, y la implementación de tecnologías agrícolas eléctricas puede ayudar a combatir el cambio climático sin amenazar la seguridad alimentaria del país, al tiempo que mejora el desarrollo de las comunidades y zonas rurales más pobres del país. Un factor importante en los sistemas de bombeo de agua que requieren electricidad para funcionar.

Figura 11. Techumbre del invernadero



Fuente: Tomada en sitio, Arq. Erika Velázquez

7 HIDROPONIA

En esta propuesta se integrará un sistema hidropónico, este es un sistema utilizado para la producción de cultivos que prescinde del suelo como soporte para las raíces de las plantas. Se basa en el desarrollo de las mismas en soluciones acuosas que aportan los nutrientes necesarios o en materiales sólidos que se asientan en su interior, de forma que las raíces puedan absorber el alimento del medio.

La elección de un tipo de hidroponía frente a otro dependerá del clima y/o de las necesidades y expectativas del agricultor. Conlleva un importante ahorro de agua, es decir, en comparación al cultivo en suelo tradicional (la hidroponía reporta que se utiliza un 20% menos de agua), aspecto a tener muy en cuenta, ya que los invernaderos son especialmente propensos a la erosión, que tiende a fragmentar el suelo y, por lo tanto, su capacidad de retener el agua. (umsa.bo, 2024)

Figura 12. Sistema de hidroponía de NFT (Nutrient Film Technique)



Fuente: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101

El sistema hidropónico que se instalará en el invernadero es de tipo NFT (Nutrient Film Technique) o también llamada técnica de la película delgada, consiste en un canal o mesas de cultivo por donde fluye el agua con los nutrientes disueltos que requiere el cultivo.

Se ubicará en la fachada occidental del invernadero, junto al tanque de agua donde estará almacenada el agua de la cosecha de lluvia y tendrá una bomba alimentada por el sistema agrolvoltaico, para el riego de las plantas en hidroponía como para el riego por

goteo de los cultivos en tierra, así se cubrirá la necesidad de un suministro continuo de agua.

En este caso, el diseño consiste canales de cultivo en fila, con una inclinación de 2% para el movimiento del agua y para mejorar la aireación por la entrada de oxígeno.

Figura 13. Técnica de un cultivo hidropónico NTF



Fuente: www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101

El sistema NTF permite cultivar hortalizas en tubos redondos o cuadrados de PVC, utilizando agua con nutrientes sin ningún tipo de sustrato, es decir, la planta dispone directamente de los minerales que necesita para su crecimiento.

Esta recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para el desarrollo de las plantas.

De esta forma, el agua de lluvia almacenada en el tanque se mantiene en constante circulación mediante una bomba alimentada por las energía captada por el sistema agrovoltáico y, al no estar estancada, no produce algas. Luego del proceso de riego hidropónico, el agua vuelve a circular a través de un sistema de ósmosis inversa para que así se pueda reciclar y utilizar para riego por goteo de los cultivos en suelo.

Figura 14 Invernadero multicapilla, España



Fuente: <https://www.agriexpo.online/es/prod/idromeccanica-lucchini-spa/product-169335-12886.html>

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Después de analizar los tres sistemas a evaluar, se puede hacer un balance positivo sobre su desempeño. Estos sistemas representan una mejora significativa en el uso de los recursos eléctricos e hídricos, siempre que se respete el cronograma y las especificaciones de las instalaciones. De la misma forma, se deben realizar las labores de mantenimiento necesarias (Sreekar, V. S., Gaikwad, N. A., & Sathe, T., 2022).

A pesar de las limitaciones encontradas, no se presentan como una barrera importante para su implementación. Es más, el anclaje por parte de los usuarios está sujeto a esquemas arcaicos, leyes y planeaciones que no promueven su desarrollo, más allá del uso de paneles solares fotovoltaicos. (Góez & Doria, 2023).

El efecto invernadero que se genera en el agua permite un mayor rendimiento y una menor cantidad de agua. Se generará energía eléctrica a partir del sistema fotovoltaico, que constituye el agrovoltaico. La hidroponía es una rama de la hidrocultura (cultivo de plantas acuáticas), que proyecta bombear agua del cuerpo receptor, almacenarla en una geomembrana y añadirle fertilizantes, de manera que la planta crezca de manera adecuada. Se consolida así el sistema dual de captación de aguas pluviales. (HERAS-BARRIOS, 2024)

4 CONCLUSIÓN

La implementación de un invernadero que aproveche la cosecha de agua pluvial, utilice paneles solares y realice cultivo hidropónico tiene varias conclusiones y beneficios.

Con este sistema ayudariamos a promover la sostenibilidad al utilizar recursos renovables y reducir el consumo de agua. El agua sería optimizada gracias a la recolección de agua pluvial optimizando así el uso del recurso hídrico, que es especialmente importante en zonas con escasez.

Habría una producción constante gracias a la hidroponía que permitiría cultivar plantas en un ambiente controlado, lo que puede aumentar la producción y mejorar la calidad de los cultivos.

Al utilizar energía agrovoltaica también se tendría una reducción de CO₂ ya que los paneles solares reducen la dependencia de combustibles fósiles, lo que contribuye a disminuir la huella de carbono.

Se puede mejorar la seguridad alimentaria local al permitir el cultivo de alimentos de manera más eficiente y en diversas condiciones climáticas, sin importar la época del año. Con el uso de este sistema se pueden dar capacitaciones y concientizar a la población sobre la importancia del medio ambiente y puede servir como modelo educativo sobre prácticas agrícolas sostenibles y la importancia del uso eficiente de los recursos.

Al implementar este sistema se pueden tener beneficios económicos teniendo un ahorro en costos operativos a largo plazo y la posibilidad de generar ingresos a través de la venta de cultivos.

La implementación de un invernadero que combine captación de agua pluvial, energía agrovoltaica e hidroponía genera resultados significativos tanto para la sociedad como para la academia, impulsando avances en sostenibilidad, innovación y desarrollo socioeconómico.

Impacto en la sociedad

Tendríamos mejoras en la seguridad alimentaria, teniendo acceso constante a productos agrícolas frescos y de calidad ayudando a combatir la inseguridad alimentaria, especialmente en zonas vulnerables.

Este modelo fomenta la producción local, reduciendo la dependencia de importaciones y fortaleciendo las economías regionales.

Promoción de prácticas sostenibles

- Sensibilizar a las comunidades y agricultores sobre la importancia de la sostenibilidad en la producción de alimentos.

- Sirve como ejemplo replicable para otras regiones, promoviendo el uso de tecnologías limpias en la agricultura.

Generación de empleo y capacitación

- La implementación y operación de estos invernaderos generan empleos en áreas como tecnología, agricultura y energías renovables.
- También fomenta la formación de técnicos y profesionales en sistemas avanzados de producción agrícola.

Contribución a la Academia: Innovación y generación de conocimiento.

- Los resultados obtenidos alimentan la investigación en áreas interdisciplinarias como energías renovables, manejo de recursos hídricos y agronomía.
- Permite validar y perfeccionar tecnologías integradas que puedan ser utilizadas en entornos académicos y comerciales e impulsar a nuevas líneas de investigación
- Motivar para hacer mas estudios relacionados con la eficiencia energética, la mejora en la calidad de cultivos y el diseño de sistemas más accesibles para comunidades rurales.
- Facilita la colaboración entre disciplinas como ingeniería ambiental, biotecnología y ciencias sociales para evaluar el impacto de estas soluciones.
- Los invernaderos pueden ser utilizados como laboratorios vivientes para enseñar a estudiantes sobre agricultura sostenible, tecnologías limpias y economía circular.

Su implementación promueve la divulgación científica y el aprendizaje práctico en centros educativos.

En resumen, un invernadero con estas características no solo optimiza la producción agrícola, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental, económica y académica.

La investigación y los resultados derivados de esta implementación demuestran que es posible conciliar el desarrollo agrícola con la sostenibilidad ambiental. En una época marcada por la crisis climática y la necesidad de transformar los modelos de producción, estas soluciones ofrecen una respuesta tangible para equilibrar la protección de

los recursos naturales y el crecimiento económico. Además, ayudan a la sociedad a adaptarse a los retos actuales, mientras la academia se beneficia al ampliar su conocimiento y desarrollar innovaciones replicables en todo el mundo.

Las limitantes para la creación de un invernadero sostenible pueden ser los costos iniciales altos, la construcción de un invernadero tecnificado que integre estas tecnologías requiere una inversión significativa en infraestructura, paneles solares, sistemas hidropónicos y mecanismos de captación de agua. Esto puede dificultar su adopción, especialmente en comunidades rurales o con recursos económicos limitados.

La dependencia de condiciones climáticas también puede ser un factor, sobre todo en la captación de agua pluvial ya que esta depende de la disponibilidad de lluvias, lo que puede ser ineficiente en zonas áridas o con precipitaciones impredecibles.

Los paneles solares pueden ser menos efectivos en regiones con baja radiación solar o climas nublados.

La operación y mantenimiento de sistemas avanzados, como la hidroponía y los paneles solares, requiere personal capacitado, lo que puede representar un desafío en áreas rurales. Las fallas en el diseño o mal mantenimiento pueden reducir la eficiencia y aumentar los costos a largo plazo.

En algunas regiones, las normativas sobre uso de agua pluvial, energías renovables o permisos para tecnologías agrícolas avanzadas pueden retrasar la implementación.

Recomendaciones para Trabajos Futuros

- Diseñar prototipos más accesibles económicamente que utilicen materiales locales y tecnologías modulares adaptadas a diferentes escalas y necesidades.
- Fomentar subsidios gubernamentales o programas de financiamiento para apoyar la adopción de estas tecnologías en comunidades con menos recursos.
- Realizar estudios específicos para adaptar los sistemas a regiones con variabilidad climática, como métodos complementarios de riego en zonas áridas o diseños de paneles solares optimizados para bajos niveles de luz.
- Desarrollar programas de formación técnica para agricultores, técnicos y comunidades locales, asegurando un manejo eficiente y sostenible del invernadero.
- Crear manuales y guías prácticas para facilitar la implementación y el mantenimiento de estas tecnologías.

- Investigar sistemas más eficientes de recolección y almacenamiento de agua pluvial, incluyendo sistemas de filtrado y reutilización para maximizar su uso.
- Incorporar sistemas de almacenamiento energético (baterías) para garantizar un suministro continuo, incluso en momentos de baja generación solar.
- Investigar la combinación de energía agrovoltaica con otras fuentes renovables, como la eólica, para aumentar la resiliencia energética.
- Crear soluciones modulares que puedan adaptarse a diferentes presupuestos y condiciones locales.

Aunque la implementación de un invernadero con captación de agua pluvial, energía agrovoltaica e hidroponía tiene desafíos, los beneficios potenciales para la sostenibilidad agrícola justifican plenamente su desarrollo e investigación. Los trabajos futuros deben enfocarse en superar las barreras económicas, técnicas y sociales, promoviendo su adopción como una solución viable para un futuro agrícola resiliente y eficiente (SFJEAS, 2024).

REFERENCIAS

Cuenca, A. D., Oña, C. E., Suquillo, I. F., & Miniguano, H. S. (2023). Metodología de Diseño de Sistemas Aislados de Energía Solar Fotovoltaica para Áreas Rurales en Ecuador. *Técnica energía*.

agua.es. (2018). Obtenido de <http://blogdeagua.es>: <http://blogdeagua.es/como-utilizar-el-agua-de-lluvia-en-mi-vivienda/>

Aguirre Buñay, S. D. & Rios Jiménez, J. J. (2023). Diseño y fabricación de un prototipo de bomba diafragma de doble efecto, accionada por rueda hidráulica de ocho palas. Obtenido de utc.edu.ec.

bbva.com. (2022). bbva.com. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/es/sostenibilidad/agrovoltica-cultivos-a-la-sombra-de-los-paneles-fotovoltaicos/>

Durango, E. s. (24 de Enero de 2019). www.elsiglodedurango.com.mx. Obtenido de <https://www.elsiglodedurango.com.mx/noticia/2019/tetela-de-ocampo.html>

esenergia. (2022). Obtenido de <https://esenergia.es/paneles-solares-invernadero/>

Góez, D. N. (2023). Barreras de acceso a los servicios de salud de telemedicina en Colombia . CIES Escolme. Obtenido de escolme.edu.co.

HERAS-BARRIOS, A.-B. A. (2024). Estudio tecno-económico de una instalación agrovoltica para autoconsumo energético de una finca de olivar en Jaén. Estudio tecno-económico de una instalación agrovoltica para autoconsumo energético de una finca de olivar en Jaén. España.

hfmexico.mx. (2021). hfmexico.mx. Obtenido de <https://www.hfmexico.mx/solarpowermexico/es/agrovoltica-energia-solar-desarrollo-y-agricultura-sostenible/>

Municipium. (2012). Obtenido de www.municipium.mx: <http://www.municipium.mx/atlasderiesgos/tetela/climatologia.php>

N Khan, RL Ray, GR Sargani, M Ihtisham, M Khayyam. (2021). Sostenibilidad. Progreso actual y perspectivas futuras de la tecnología agrícola: puerta de entrada a la agricultura sostenible.

Quisbert Corina, O. (2021). Diseño de una vivienda ecológica bioclimática productiva, energéticamente autónoma con sistema fotovoltaico, térmico y biomasa. Obtenido de repositorio.umsa.bo: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/35637/PG-7635.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Redalyc. (2022). Obtenido de <https://www.redalyc.org>: <https://www.redalyc.org/journal/6651/665170661006/665170661006.pdf>

Repository. (2023). Obtenido de repository.unipiloto.edu: <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12602/GP126-Grupo2%20Trabajo%20gradoV3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SFJEAS. (20 de 11 de 2024). South Florida Journal of Environmental and Animal Science. Obtenido de <https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/sfjeas/home>

Sreekar, V. S., Gaikwad, N. A., & Sathe, T. (2022). A Case Study on Agrovoltaic: Technology for Rural Infrastructure Development. In Infrastructure Development—Theory, Practice and Policy. Routledge.

Taylor Francis. (2020). Obtenido de Agricultura sostenible: taylorfrancis.com

UMSA. (s.f.). Obtenido de repositorio.umsa.bo: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/27843/T-3816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

umsa.bo, r. (2024). Respuesta de maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*) a la solución nutritiva de steiner para la producción de forraje verde hidropónico. Obtenido de repositorio.umsa.bo.