



Aarón Sánchez Juárez <asj@ier.unam.mx>

[Ticket: 16056] Prospectiva Agrovoltaica para México: Agricultura y Energía en el mismo terreno – Nueva Artículo creado

1 mensaje

SNES 48 <snes@anes.org.mx>

1 de abril de 2024, 19:49

Responder a: XLVII SNES <soporte@anes.org.mx>

Para: ASJ-IER <asj@ier.unam.mx>, soporte <soporte@anes.org.mx>



[Ticket: 16056] Prospectiva Agrovoltaica para México: Agricultura y Energía en el mismo terreno

Artículo creado, ID 16056:

Los Sistemas Agrovoltaicos representan un paradigma sobre el uso de la tierra: aprovechamiento dual del terreno tanto para generar electricidad solar fotovoltaica como para el crecimiento de cultivos. Los arreglos fotovoltaicos se elevan del suelo, y bajo de ellos, se siembran especies que se ven favorecidas por las sombras que producen las placas fotovoltaicas, es decir, las identificadas con el concepto de Agricultura Protegida. En este trabajo se evalúa el potencial de generación de energía eléctrica por medio de los sistemas agrovoltaicos con base en el área identificada para los distintos tipos de tecnologías empleadas en la Agricultura Protegida, el Recurso Solar Promedio Mensual de México y el factor de llenado máximo del arreglo fotovoltaico sobre la superficie disponible. Así, se obtuvo que la magnitud de la Potencia Fotovoltaica factible a ser generada en la superficie que se está dedicando a la Agricultura Protegida es tres veces mayor a la potencia fotovoltaica instalada actualmente, incluyendo tanto las grandes Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica como aquellos Sistemas Fotovoltaicos clasificados como Generación Distribuida. Adicionalmente, la generación de energía eléctrica que podrían suministrarse al Sistema Eléctrico Nacional sería el equivalente al 29% de la energía que se consumió en el año 2022. Por cual los sistemas agrovoltaicos representan una alternativa para la sustentabilidad energética y alimentaria, de nuestro país.

[Ver Artículo](#)



Prospectiva Agrovoltaica para México



Agricultura y Energía en el mismo
terreno

Autores

Aarón Sánchez Juárez

Teresa de Jesús Ruiz Sanchez

Miguel Ángel Guevara Nieto

Resumen

En nuestro país, los Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red General de Distribución o de Transmisión del Sistema Eléctrico Nacional, o Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica (PGESFV), han tenido una penetración desde 2007 al 2023 que, a la fecha han acumulado una potencia pico de 10,479 MW [1,2], de los cuales, 2,954.65 MW corresponden a la Generación Distribuida (sistemas menores de 0.5 MW) y 7,524.35 MW en sistemas de gran potencia, los cuales ocupan más de 10,000 ha de terreno sin vocación agrícola, lo anterior considerando un factor de ocupación del 50% de la superficie disponible y una eficiencia de conversión de la tecnología fotovoltaica del 20% (se puede instalar 1.0 MW de potencia fotovoltaica en un terreno de una hectárea de superficie).

Los Sistemas Agrovoltaicos representan un paradigma sobre el uso de la tierra: aprovechamiento dual del terreno tanto para generar electricidad solar fotovoltaica como para el crecimiento de cultivos. Los arreglos fotovoltaicos se elevan del suelo, y bajo de ellos, se siembran especies que no se ven afectadas por las sombras que producen las placas fotovoltaicas sobre ellas. Ya que es conocido que muchas especies de alimentos vegetales crecen bajo condiciones de sombreado con el concepto de Agricultura Protegida, los Sistemas Agrovoltaicos representan una alternativa para incrementar la eficiencia del uso de la tierra que ya está dedicada al crecimiento de cultivos bajo sombra.

Considerando el amplio Recurso Solar a lo largo y ancho de la República Mexicana, los Sistemas Agrovoltaicos representan una opción óptima para la sustentabilidad energética y alimentaria que nuestro país está buscando para abatir las demandas de ambos vectores en un futuro cercano.

En el presente trabajo se realiza una valoración del potencial de uso de los Sistemas Agrovoltaicos solamente considerando su aplicación en aquellas zonas en donde se desarrolla la Agricultura Protegida, que representa un total de 32,015.09 ha de un total de 29.8 millones de hectáreas [3]. Si la superficie total que se usa para la agricultura protegida se transforma en superficie agrovoltaica, con una tasa de ocupación de 1.0 MW por hectárea de terreno, entonces el potencial de instalación de Sistemas Fotovoltaicos estimado es el siguiente:

Para el caso de especies cultivadas con malla sombra, se puede instalar 15,027.18 MW de potencia Fotovoltaica; para aquellas en invernaderos, el cálculo arroja 13,450.54 MW; y para macro túnel, la cantidad es de 3,536.97 MW; los tres métodos de cultivo arrojan un potencial de Sistemas Fotovoltaicos con una Potencia Pico total con una capacidad de 32,015.09 MW; es decir, del orden de 32.01 GW.

Por otra parte, tomando en consideración los datos de precipitación anual promedio de 20 años de la base de datos del banco mundial, el cual arroja un valor de 758 mm, entonces para cada hectárea de terreno en la cual el factor de ocupación del SFV es del 50%, se puede captar 3,790 m³ al año; por lo que, considerando la superficie total que se ocupa para la Agricultura Protegida, las cubiertas fotovoltaicas pueden captar la cantidad de 121,337,191 m³ anuales. Esta enorme cantidad de agua que se puede captar se desperdicia actualmente y puede representar un volumen ideal para mitigar la demanda de agua en los cultivos respectivos de cada zona de producción.

Los datos que se muestran dan una idea de los beneficios directos que se tendrán si se considera el uso dual de las superficies de cultivo: alimentos y energía; con un beneficio adicional que es la captura y recolección del agua de lluvia

La magnitud de la Potencia Fotovoltaica que se puede instalar en la superficie que se está dedicando a la Agricultura Protegida es 3 veces más grande que la potencia fotovoltaica instalada actualmente en nuestro país incluyendo tanto las grandes Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica como aquellos Sistemas Fotovoltaicos clasificados como Generación Distribuida. Este potencial muestra que usando de manera dual las superficies de cultivo, es posible incrementar el vector fotovoltaico en la matriz energética del país. Por otra parte, el beneficio adicional que se puede obtener con la captura y recolección del agua de lluvia por las cubiertas fotovoltaicas puede mitigar la demanda de agua que se requiere en los cultivos tradicionales en la Agricultura Protegida.

Estudios económicos se están realizando para determinar los montos de inversión y tasas de retorno para analizar la viabilidad de uso de dichos sistemas en el sector agrícola.

Palabras clave:

Sistemas Fotovoltaicos; Sistemas Agrovoltaje; Agricultura Protegida, Cubierta fotovoltaica

Introducción

Un Sistema Fotovoltaico (SFV) es la integración de equipos que captan, absorben, transforman en electricidad la luz solar y la acondicionan para que pueda ser usada por las cargas o aparatos eléctricos convencionales. Una representación esquemática de un SFV se muestra en la **Figura 1**.



Figura 1: Esquema simplificado de un SFV convencional (diseño propio).

Los SFV han sido la tecnología más eficaz para producir electricidad tanto en el medio rural en donde no existe la red eléctrica convencional, así como, en el ámbito suburbano y urbano. En el medio rural, ha sido aplicada para una infinidad muy amplia de proyectos que van desde clínicas rurales, educación a distancia, telefonía rural, repetidoras de radio, antenas de transmisión y recepción, y, sobre todo, polos de desarrollo económico asociado a actividades agropecuarias; y en éste sector, se ha contabilizado más de 1.0 MW de potencia Fotovoltaica instalada en el medio rural para proyectos productivos que incluyen aplicaciones para abrevaderos de ganado, conservación de producto agrícola y proyectos de irrigación en pequeñas parcelas a cielo abierto y para invernaderos [4]. La **Figura 2** muestra varias fotografías de proyectos instalados durante el periodo 2000-2006 dentro del Programa Energías Renovables para la Agricultura (PERA) del FIRCO-SAGARPA (Fideicomiso de Riesgo Compartido de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación), actualmente Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Mientras que, en el medio urbano y suburbano, se han instalado del orden de 10 MW de potencia Fotovoltaica para agroindustrias [4], incluyendo granjas porcinas, avícolas y acuícolas; establos para producción de leche y corrales de engorda, rastros tipo TIF y desarrollo ecoturístico entre otros. En la **Figura 3** se muestran fotografías de algunos proyectos instalados en el periodo 2006-2016 dentro del programa Energía Renovable y Eficiencia Energética en el Agro Mexicano FIRCO-SAGARPA.



Figura 2: Sistemas Fotovoltaicos para abrevaderos de ganado e irrigación de cultivos (Fotos propias).



Figura 3: Sistemas fotovoltaicos instalados en granjas agropecuarias (Fotos cortesía FIRCO-SAGARPA).

Las buenas experiencias y mejoras en los productos que han traído como consecuencia ingresos considerables para los productores en los proyectos antes mencionados, dan constancia de la bondad y beneficios que se obtienen con la implementación y uso de los SFV en las actividades agropecuarias. Sin embargo, en ninguno de los proyectos anteriores, se consideró que el área bajo las cubiertas fotovoltaicas resultan ser improductivas ya que, en su diseño, no se tomó en cuenta dicho aspecto. En la **Figura 4** se

ilustra, a manera de ejemplo, las áreas improductivas desde el punto de vista agrícola, debajo de las placas fotovoltaicas en alguno de los proyectos antes mencionados.



Figura 4: Se muestra la no productividad debajo de las cubiertas FV (fotos cortesía FIRCO-SAGARPA).

Es más, se conoce por datos de la SENER [1,2], que en nuestro país hay 7,524.35 MW en sistemas de gran potencia de tecnología FV instalada que, a una tasa de ocupación de terreno de 1 MW por hectárea, da como resultado una ocupación de 7 mil quinientas hectáreas de terreno que no son productivas desde el punto de vista agrario.

Una manera de tener un área agrícola productiva en la cual al mismo tiempo se produzca electricidad fotovoltaica es a través de la implementación del concepto de Sistema Agrovoltaico (SAV) [5], el cual se crea cuando, en una parcela o zona de cultivo, se coloca encima de ella placas fotovoltaicas que podrían producir la electricidad que requiere el agricultor para mejorar sus procesos agrícolas; o bien, usar los pasillos de mantenimiento para sembrar productos agrícolas en una PGESFV. Para el primer caso, se requiere una estructura metálica elevada que sirva de soporte para instalar las placas fotovoltaicas quedando bajo ellas los cultivos; en el segundo caso, los cultivos se pueden sembrar en los pasillos estando expuestos a cielo abierto para su crecimiento, tal y como se considera en los cultivos tradicionales. La **Figura 5** muestra este concepto dual de manera fortuita, aunque el diseño fue propuesto para producir sombra en el abrevadero del ganado, pero no para el crecimiento de cultivos agrícolas.

Los SAV ofrecen una alternativa para producir electricidad y cultivar alimentos en un mismo terreno de una manera amigable tanto para el usuario como para el ambiente. Los módulos fotovoltaicos (MFV) instalados arriba de los cultivos, crean durante el día sombras sobre ellos atenuando o reduciendo la intensidad de la radiación solar, y su efecto es tal que, se disminuye el estrés térmico luminoso al que las plantas se someten diariamente al estar expuestas directamente a los rayos del Sol; y como consecuencia,

se obtienen mejoras en su crecimiento, disminución en la demanda de agua, reducen los riesgos de las inclemencias del clima; y adicionalmente, mejora el rendimiento del Arreglo Fotovoltaico (AFV) debido al enfriamiento de los MFV propiciado por los cultivos bajo de ellos; entre otras bondades ya identificadas [6, 7, 8].



Figura 5: En (a) se muestra el uso dual de un terreno, tanto para generar electricidad como para hacer sombra al ganado; en (b) se muestran los pasillos de mantenimiento en una planta solar fotovoltaica instalada sobre el suelo sin tener una vocación agrícola que reditúe frutos al propietario (fotos propias).

En la **Figura 6** se muestran dos fotografías de la manera no convencional en que se han instalado los MFV [9, 10] : la idea es colocar MFV sobre los cultivos agrícolas y aprovechar el terreno disponible al máximo, permitiendo al agricultor cosechar alimentos al mismo tiempo que se produce electricidad, con la cual, podrá mejorar sus procesos de: tratamiento de suelo y de agua, siembra, riego, automatización de invernaderos, iluminación, monitoreo, control de plagas, cosecha, procesamiento y conservación del producto agrícola.

Es importante considerar que no todos los cultivos son viables para las aplicaciones agrovoltaicas ya que muchos de ellos requieren toda la radiación solar disponible al día, cosa que no se tiene abajo de las cubiertas FV debido al sombreado que producen los MFV al estar elevados sobre el terreno.



Figura 6: Sistemas Agrovoltaicos donde un AFV se encuentra instalado, de forma elevada, sobre un cultivo agrícola. Imágenes tomadas de [9, 10]

En las zonas rurales así como aquellas declaradas como áreas de conservación, la carencia de electricidad requerida para procesos agropecuarios se vuelve una barrera que impide el desarrollo económico

sustentable en dichas zonas, encontrándose como factor común el uso de tecnologías convencionales para generar electricidad (motogeneradores) o bombeo de agua (motobombas) las cuales traen consigo problemas de contaminación y gastos económicos fuertes asociados al mantenimiento, consumo de combustible fósil y reposición periódica de equipos. Sin embargo, se ha comprobado con los proyectos mencionados que la mayor parte de los problemas energéticos en el campo, se pueden resolver mediante el uso de las tecnologías Fotovoltaicas comerciales, las cuales ofrecen electricidad para migrar del uso de equipos que consumen combustibles fósiles a equipos eléctricos que puedan ser energizados con tecnología FV, reduciendo los gastos por la compra de gasolina, mantenimiento y sus emisiones contaminantes.

La instalación de sistemas FV en zonas rurales bajo el concepto Agrovoltaico no interfiere con las actividades agrícolas del usuario, por el contrario, le puede brindar al agricultor la energía eléctrica necesaria que permite incrementar el rendimiento de crecimiento de los cultivos, el volumen de las cosechas y la calidad de estos, teniéndose productos más competitivos en el mercado e incremento en sus ingresos monetarios, y consecuentemente una mejor calidad de vida para los agricultores [7, 8].

Sin embargo, si se desea usar el concepto agrovoltaico con los módulos elevados sobre el terreno, se debe tener presente que no todos los vegetales se benefician al estar sombreados, solo aquellos que, estando en la sombra crecen adecuadamente. A la actividad de crecer especies vegetales bajo una sombra producida por mallas especiales se le llama Agricultura Protegida.

Por otra parte, hay un beneficio adicional que se puede explotar, el cual es, la captura y recolección del agua de lluvia. Si se considera una tecnología FV con el 20% de eficiencia, 1.0 MW de potencia fotovoltaica ocupará una Superficie Activa de 5,000 m². Por lo tanto, por cada 1.0 mm de precipitación pluvia, la cubierta fotovoltaica es capaz de captar 50.0 m³ de agua. Dicho volumen puede mitigar la demanda de agua requerida por los cultivos.

En el presente artículo se estima la magnitud de la potencia fotovoltaica a instalar para la posible implementación de SAV en nuestro país en zonas geográficas en donde se desarrollan actividades agrícolas bajo los siguientes escenarios:

- a) Esquema de Agricultura Protegida, como un marco de referencia para estimar el potencial de uso del concepto agrovoltaico.
- b) Espacios disponibles en Sistemas fotovoltaicos interconectados a las redes generales de distribución de CFE bajo el esquema de Generación Distribuida.

Consideraciones de diseño fotovoltaico

Es conocido que México es un país que se encuentra entre los 14° 32'27" y 32° 43'06" de Latitud Norte [11], zona que es considerada con alta incidencia de radiación solar, recibiendo un monto de energía, promedio diario anual de 5.5 kWh/m², lo cual, lo hace que sea muy atractivo para la implementación de proyectos de generación de electricidad mediante el uso de la tecnología fotovoltaica.

Esta radiación tan abundante hace que, en algunas regiones del país, se usen cubiertas que atenúen la intensidad de la luz solar para proteger a las plantas de la excesiva radiación solar, pudiendo llegar al grado

de tener sistemas de cultivo en invernaderos; así que, esta acción de protección se puede lograr mediante el uso de una cubierta fotovoltaica tal y como se ha demostrado con todos los sistemas AFV.

Para lograr lo anterior, es importante considerar que la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas para generación de electricidad máxima al año, se diseñan de tal manera que los MFV se instalan sobre el terreno en una estructura fija (sembrado) creando hileras que, corren de Este a Oeste, con su cara frontal viendo hacia el Sur y con un ángulo de inclinación igual a la Latitud del lugar; y entre cada hilera, se deja un espacio con un ancho necesario para que la hilera del frente no sombre a la hilera inmediata trasera para el día 21 de diciembre (día para el cual se tiene el ángulo de elevación solar más pequeño).

Para el caso de estructuras con seguimiento polar, las hileras de MFV corren de Norte a Sur, pudiendo tener su eje de seguimiento horizontal o inclinado a la latitud de lugar o al ángulo de diseño que maximiza la producción de energía eléctrica al año. Los MFV siguen al Sol en su trayectoria diaria aparente y las hileras deben estar separadas la distancia pertinente para que no haya sombreado entre hileras vecinas, tanto por la mañana como por la tarde, para el día 21 de diciembre.

Si los MFV se elevan una altura pertinente, durante un día despejado, la distribución del “sembrado” de hileras hace que los MFV bloquen los rayos directos del Sol y el espaciamiento entre ellos permite el paso de la luz solar; y de esta manera, sobre el suelo se proyectan tanto una sombra como un haz de luz, ambos de forma romboidal, cuyo ancho varía de acuerdo al ancho de la hilera (normalmente una o dos veces la longitud del MFV), al ancho de la separación entre hileras y de la posición del sol en la bóveda celeste de acuerdo al tránsito anual de la Tierra alrededor del Sol. En la **Figura 7** se muestran tres fotografías tomadas para diferentes días del año en el proyecto Parcela Agrovoltaica, Sostenible y Educativa, el cual es un Laboratorio para el estudio de la fenología de crecimiento de especies vegetales sembrados bajo una cubierta fotovoltaica [12]. El SFV en dicho proyecto se diseñó para satisfacer las necesidades energéticas de dos plantas de tratamiento de agua dando una potencia fotovoltaica de 39.36 kW que es suministrada por 72 MFV instalados en una configuración de 6 hileras, cada una integrada por 12 MFV colocados en posición de retrato.



Figura 7: Efecto de luz y sombra proyectado por un arreglo fotovoltaico de 6 hileras, cada una con 12 MFV, espaciadas 1.45 m a una altura de 3.54 m

Bajo ese concepto de “sembrado” para los MFV, hileras-espaciamiento, se requiere de un diseño que se adecue a los cultivos, es decir, la sombra que produzcan no afecten su crecimiento fenológico y que maximicen la energía eléctrica a generar.

Dicho espaciamiento dependerá del requerimiento del cultivo y las condiciones climatológicas locales. Sin embargo, si se tiene que generalizar el diseño del sembrado de los MFV para cultivar diferentes especies y no afectar los cultivos, se puede optar por un diseño que no supere el umbral del 50% de sombreado,

puesto que, cuando a una planta se le priva de más del 50% de la radiación solar incidente, se presentan repercusiones significativas en el desarrollo de la mayoría de las especies [13].

Para calcular el potencial de aplicación que tiene la tecnología agrovoltaica en México, es necesario conocer la manera en la que se calcula el potencial de aplicación de esta tecnología por unidad de área. Para este proceso es necesario conocer 4 datos vitales:

- 1) La superficie total disponible S_D para implementar el proyecto AFV
- 2) El Factor de Ocupación del Arreglo FV o la superficie activa S_A respecto del área total disponible
- 3) La irradiancia solar bajo condiciones Estándares de Prueba (STC por sus siglas en inglés) para fines de cálculo
- 4) La eficiencia de conversión de la tecnología fotovoltaica que se vaya a instalar

El área total disponible S_D va a variar dependiendo de cada proyecto, pero es la superficie que se está cultivando. Para fines ilustrativos, se va a considerar un caso típico para una hectárea agrícola disponible (10,000.0 m²).

En lo que respecta al factor de ocupación ($Ff=S_A/S_D$) en un proyecto agrovoltaico, los MFV instalados en estructuras elevadas en forma de hileras siguen la misma lógica de los sistemas fotovoltaicos instalados a ras de piso: Se debe dejar espacios entre las hileras para evitar el sombreado mutuo entre ellas. Este espaciamiento puede llegar a representar hasta el 50% del área disponible en el terreno de cultivo. Esto quiere decir que, si se cuenta con un terreno de 10,000.0 m², el sistema fotovoltaico solo podrá ocupar, 5,000.0 m² (50% del área total disponible).

Por fines de homologación y facilidad de cálculos, se tiene estandarizado a nivel mundial un valor de 1,000 W/m² para la irradiancia máxima o pico G_p (máxima densidad de potencia de la radiación solar). Esto quiere decir que a pleno Sol, una superficie de 1.0 m² de área expuesta recibe 1,000 W de potencia de luz solar. En consecuencia, una superficie de 5,000.0 m² de área, recibirá una potencia de la radiación solar de 5,000.0 kW. ¿Cuánta potencia FV se puede instalar? La respuesta depende de la eficiencia de conversión de la tecnología FV seleccionada.

La tecnología fotovoltaica que domina el mercado internacional son las celdas solares de silicio cristalino. Con base en la Tabla de Eficiencias publicada por el National Renewable Energy Laboratory 2023 [14], las celdas solares de silicio monocristalino han alcanzado eficiencias de conversión del 26.1% mientras que las de silicio multicristalino han llegado al 23.3%.

Para fines prácticos, considerese que se tiene disponible comercialmente MFV con una eficiencia de conversión del 20.0%; valor típico de la oferta comercial, medida bajo condiciones STC (Irradiancia de 1,000.0 W/m²; AM1.5 y T_c=25°C). Esto quiere decir que, si se instala 1 m² de tecnología solar fotovoltaica con una eficiencia de conversión de 20%, vamos a obtener una potencia eléctrica de 200 Watts (0.20 kW), equivalentes al 20% de 1,000 Watts por cada metro cuadrado (referente a la irradiancia estándar de 1,000 W/m²).

En forma general, por definición de eficiencia de conversión (η), se tiene que [15]:

$$\eta = \frac{P_P}{G_P S_A} \quad (1)$$

En la Ecuación (1) se tiene que P_P es la Potencia Pico del Arreglo Fotovoltaico (AFV); G_P es la irradiancia pico ($G_P=1,000.0 \text{ W/m}^2$); S_A es la superficie activa del AFV.

Considerando la Ecuación (1), para una superficie agrícola disponible (S_D) de 1.0 ha, un factor de ocupación del AFV al 50% de la S_D y una eficiencia de conversión del 20%, entonces la Potencia Pico que se puede instalar es

$$P_P=1.0 \text{ MW} \quad (2)$$

Si se usan MFV de 500.0 W pico, el total de MFV es 2,000 unidades que se deben instalar en una estructura elevada sobre la superficie agrícola. El “sembrado” de esa cantidad de MFV dependerá de las dimensiones geométricas de la superficie disponible S_D , de la clasificación del sistema fotovoltaico (autónomo o interconectado a la red de distribución eléctrica), de los acondicionadores de potencia y de las cargas eléctricas a energizar.

Ahora bien, la pregunta es: ¿Cuántas unidades de producción de 1.0 ha o fracción de ella hay en el país? Conociendo dicho valor, se puede estimar el potencial en potencia pico de proyectos agrovoltaicos.

Potencial de aplicación de Sistemas Agrovoltaicos en México

Según el CENSO agropecuario realizado por el INEGI durante el 2022, se han cuantificado 32.1 millones de hectáreas con vocación agrícola, sobre las cuales, virtualmente, se podría llegar a instalar del orden de $32.1 \times 10^3 \text{ GW}$ de tecnología FV y convertir toda la superficie en proyectos AFV. Sin embargo, es necesario considerar que no todos los cultivos son viables para las aplicaciones agrovoltaicas pues, algunos de ellos requieren niveles de radiación solar que solo se obtienen a cielo abierto y no son candidatos a crecer bajo el concepto AFV debido al sombreado generado por los MFV elevados.

De los tipos de cultivos agrícolas manejados en México tales como: frutales, productos industriales, cereales, hortalizas, tuberosas, forrajeras, etc., aquellos cultivos que tienen las mejores oportunidades de éxito en aplicaciones agrovoltaicas, son aquellos que ya están siendo cultivados en condiciones de sombreado, estos son, los cultivos protegidos, específicamente, hortalizas.

La Agricultura Protegida es aquella en la que los cultivos se encuentran resguardados con cubiertas plásticas, malla sombra u otro tipo de material que permiten tener un control de condiciones ambientales como la temperatura, humedad y luz. Los sistemas de Agricultura Protegida más comunes son: cubiertas tipo malla sombra, túnel, micro túnel e invernadero. Las fotografías que se muestran en la **Figura 8** son ejemplos ilustrativos de dichas cubiertas.

La diferencia entre el túnel y el micro túnel es que, en el primero se tiene la altura suficiente para caminar erguido y en el segundo, no; mientras que la diferencia entre el túnel y el invernadero es que, en el túnel solo se busca proteger al cultivo mediante una cubierta, mientras que en el invernadero se suelen implementar otros tipos de control de las condiciones climáticas como la temperatura, el viento, la

humedad, la luz, el medio de cultivo que no necesariamente se encuentra directamente sembrado en el suelo.



Figura 8: Tipos de cubierta empleada en la agricultura protegida. Arriba a la izquierda: Malla sombra. Arriba a la derecha: Micro túnel. Abajo a la izquierda: Túnel. Abajo a la derecha: Invernadero.

Al considerar únicamente los datos de las áreas destinadas a la Agricultura Protegida, se estará considerando aquellas especies que requieren bajos niveles de radiación solar directa, las cuales, son candidatas (las áreas) a tener un sistema fotovoltaico elevado y convertir dicha Agricultura Protegida en Sistemas de producción Agrovoltáica (SAV). Con un buen diseño de "sembrado" de los MFV elevados, la sombra que estos proyecten sobre los cultivos serán de bajo impacto en el crecimiento de ellos.

Para estimar el potencial en Potencia Pico de SAV asociados a la Agricultura Protegida se debe considerar, la información proporcionada por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural con respecto a la superficie que se dedica a dicha actividad. En la **Figura 9** se muestra una gráfica que proporciona la cantidad de hectáreas que se usan para cultivos en la modalidad de Agricultura Protegida considerando tres tipos de tecnologías: malla sombra, invernaderos y macro túnel. Los datos fueron extraídos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [16, 17]. Estas son las únicas hectáreas que realmente se pueden considerar como candidatas para instalar sistemas agrovoltáicos que no perjudiquen al cultivo de manera significativa. De todas las especies que se cultivan bajo el concepto de Agricultura Protegida, las hortalizas son las que más se producen en México, con el 59% de la superficie, que representa alrededor de 28 mil hectáreas, seguida de los frutales, con 35% y una cobertura de 16 mil hectáreas.

La **Tabla 1** muestra los Estados de la República Mexicana en donde se desarrolla la Agricultura Protegida, la cantidad de hectáreas así como el valor de la producción de estas actividades. Se puede identificar en dicha tabla a los Estados Federativos con más hectáreas de cultivo con los diferentes métodos tecnológicos. Destacan Baja California, Baja California Sur, San Luis Potosí, Sinaloa y Sonora en cultivos con

Malla Sombra; Sinaloa, seguido de Jalisco, Guanajuato y Puebla destacan en el uso de Invernaderos, cada uno con más de 1,000 ha; y Michoacán destaca por el uso de Macro Túnel con 3,069.5 ha.

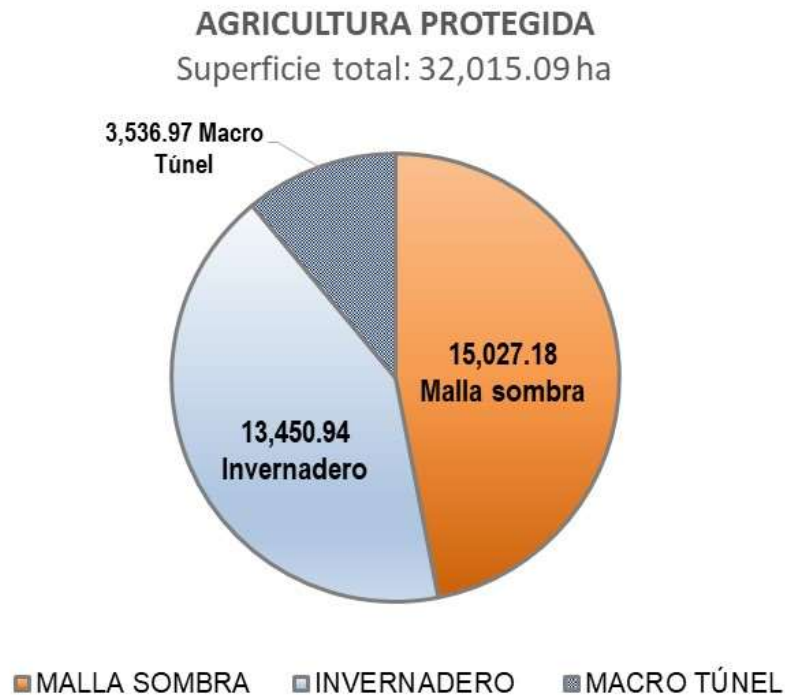


Figura 9: Distribución de la superficie dedicada a la agricultura protegida. Datos del 2022 Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Considerando el clima de dichos Estados, se determina que alguno de ellos presentan climas desérticos y secos con baja humedad relativa, y esta característica, los hace candidatos a convertir su técnica de cultivo a SAV dado que se ha demostrado, a partir de diferentes estudios, que dichos sistemas en zonas áridas tiene un potencial de uso muy grande por todos los beneficios que conlleva hacia los cultivos [7].

De acuerdo a la **Tabla 1**, el volumen de negocio de los tres métodos de cultivos supera los \$41,632 millones de pesos anuales; y sin lugar a dudas, todas las unidades productivas que se desarrollan en los Estados Federativos considerados, requieren electricidad para sus diversos procesos agrícolas. La mayoría de las unidades productivas, si no es que todas, cuentan con el suministro de energía eléctrica provisto por la Comisión Federal de Electricidad (CFE); y en consecuencia, se presenta un nicho de oportunidad para los SAV: la energía requerida puede ser provista por Sistemas Fotovoltaicos elevados diseñados para la Interconexión a la Red General de Distribución (RGD) de CFE bajo cualquiera de los esquemas que permiten las Regulaciones Gubernamentales emitidas por la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

Tabla 1: Anuario estadístico de la producción Agrícola Protegida. Fuente Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [16, 17].

ANUARIO ESTADÍSTICO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA PROTEGIDA https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/								
Año Agrícola: Ciclo Otoño-Invierno y Ciclo Primavera-Verano								
ESTADO	MALLA SOMBRA		INVERNADEROS		MACRO TÚNEL		AGRICULTURA PROTEGIDA: INVERNADERO, MALLA SOMBRA, MACRO TÚNEL	
	ha	VALOR DE LA PRODUCCIÓN MILES \$	ha	VALOR DE LA PRODUCCIÓN MILES \$	ha	VALOR DE LA PRODUCCIÓN MILES \$	RIEGO (ha)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN MILES \$
AGUASCALIENTES	7.50	\$4,355.98	130.44	\$492,128.53	97.87	88,252.64	235.81	\$584,737.15
BAJA CALIFORNIA	764.72	\$1,962,539.73	123.15	\$211,064.58			887.87	\$2,173,604.31
BAJA CALIFORNIA SUR	1,659.00	\$1,366,565.06	510.25	\$227,382.11	3.00	454.50	2,172.25	\$1,594,401.67
CAMPECHE	SIN DATOS		SIN DATOS		SIN DATOS			
COAHUILA	271.50	\$395,072.16	527.20	\$989,690.77	SIN DATOS		798.70	\$1,384,762.94
COLIMA	SIN DATOS		142.75	\$165,363.39	SIN DATOS		142.75	\$165,363.39
CHIAPAS	121.03	\$75,750.67	41.09	\$26,040.36	SIN DATOS		162.12	\$101,791.03
CHIHUAHUA	87.00	\$124,010.91	17.60	\$129,988.39	SIN DATOS		104.60	\$253,999.29
CDMX	SIN DATOS		137.80	\$410,839.86	SIN DATOS		137.80	\$410,839.86
DURANGO	10.00	\$14,814.15	334.32	\$516,670.25	SIN DATOS		344.32	\$531,484.40
GUANAJUATO	28.50	\$30,889.94	1,243.55	\$1,974,403.26	6.00	3,768.54	1,278.05	\$2,009,061.74
GUERRERO	1.21	\$292.99	99.46	\$29,476.06	SIN DATOS		100.67	\$29,769.05
HIDALGO	SIN DATOS		301.59	\$498,476.93	SIN DATOS		301.59	\$498,476.93
JALISCO	111.00	\$171,888.39	1,539.04	\$2,528,565.45	283.50	331,589.52	1,933.54	\$3,032,043.36
MEXICO	SIN DATOS		987.75	\$1,684,109.74	53.00	58,991.41	1,040.75	\$1,743,101.15
MICHOACAN	SIN DATOS		681.63	\$1,266,168.84	3,069.50	3,306,818.79	3,751.13	\$4,572,987.63
MORELOS	SIN DATOS		881.50	\$1,439,318.30	SIN DATOS		881.50	\$1,439,318.30
NAYARIT	SIN DATOS		114.50	\$114,164.44	SIN DATOS		114.50	\$114,164.44
NUEVO LEÓN	10.00	\$13,919.04	142.00	\$523,767.86	SIN DATOS		152.00	\$537,686.90
OAXACA	SIN DATOS		570.83	\$913,376.10	SIN DATOS		570.83	\$913,376.10
PUEBLA	7.00	\$1,642.56	1,134.44	\$1,213,476.71	1.85	2,259.86	1,143.29	\$1,217,379.13
QUERÉTARO	SIN DATOS		341.13	\$1,488,270.87	SIN DATOS		341.13	\$1,488,270.87
QUINTANA ROO	SIN DATOS		27.85	\$136,482.29	SIN DATOS		27.85	\$136,482.29
SAN LUIS POTOSI	1,719.74	\$4,015,591.71	631.70	\$1,571,364.76	SIN DATOS		2,351.44	\$5,586,956.47
SINALOA	6,905.48	\$5,265,341.14	1,908.53	\$2,252,981.31	SIN DATOS		8,814.01	\$7,518,322.46
SONORA	2,997.50	\$2,437,748.19	188.10	\$214,393.47	SIN DATOS		3,185.60	\$2,652,141.67
TABASCO	SIN DATOS		SIN DATOS		SIN DATOS			
TAMAULIPAS	220.00	\$100,403.25	SIN DATOS		18.00	32,502.24	238.00	\$132,905.49
TLAXCALA	SIN DATOS		42.50	\$60,344.58	SIN DATOS		42.50	\$60,344.58
VERACRUZ	SIN DATOS		34.00	\$43,799.48	SIN DATOS		34.00	\$43,799.48
YUCATAN	21.00	\$9,420.42	20.78	\$10,389.67	SIN DATOS		41.78	\$19,810.09
ZACATECAS	85.00	\$121,591.69	595.46	\$561,246.39	4.25	2,208.32	684.71	\$685,046.41
TOTALES	15,027.18	\$16,111,837.98	13,450.94	\$21,693,744.74	3,536.97	3,826,845.83	32,015.09	\$41,632,428.56

Ahora bien, considerando que los cultivos en la Agricultura Protegida requieren cierto nivel de radiación solar, la arquitectura de los Sistemas Fotovoltaicos aplicados hacia los SAV deben diseñarse con base en dicho requerimiento y determinar cuál es el valor óptimo o adecuado del Factor de Ocupación F_f entre la Superficie Activa (S_A) del AFV proyectada sobre el suelo y la Superficie Disponible (S_D). Una de las grandes ventajas de la tecnología fotovoltaica es su modularidad, así que el espaciamiento entre hileras de módulos o el espaciamiento entre módulos vecinos, y el incremento de la altura de estos sobre el terreno, proporciona múltiples soluciones de “sembrado” con estructuras fijas; y es más, el uso de seguidores solares de un solo eje y elevación de la altura de los módulos para permitir el uso de maquinaria agrícola convencional, son alternativas que ya se han usado [18].

Con base en los datos de la **Tabla 1** en donde se encuentran las superficies destinadas a la Agricultura Protegida y usando un Factor de Ocupación del 50% para los arreglos fotovoltaicos ($S_A = 0.5 S_D$) con MFV con una eficiencia del 20%, la Potencia Pico que se puede instalar sobre estructuras elevadas se presenta en la **Tabla 2**.

Para el caso de especies cultivadas con **mallado sombra**, se puede instalar **15,027.18 MW** de potencia Fotovoltaica; para especies cultivadas en **invernaderos**, el cálculo arroja **13,450.54 MW**; y para **macro túnel**, la cantidad es de **3,536.97 MW**; los tres métodos de cultivo arrojan una **Potencia Pico Total con una capacidad de 32,015.09 MW**; es decir, **del orden de 32 GW**.

Cabe destacar que para el cierre de 2023, la SENER reporta que se tienen alrededor de 10.5 GW de capacidad instalada fotovoltaica en México, por lo que, el potencial de instalación de Sistemas Agrovoltaicos para la Agricultura Protegida es casi 3 veces mayor a todo lo que se ha instalado de tecnología solar fotovoltaica convencional dentro de territorio nacional.

Conociendo el perfil de temperatura ambiente y el Recurso Solar en las Entidades Federativas, se puede estimar la magnitud de la Energía Eléctrica Fotovoltaica, E_G , que se puede generar para una estructura fija con los MFV orientados hacia el Sur verdadero a un ángulo de inclinación igual a la Latitud del lugar, que son las condiciones para maximizar la energía al año [15]. En forma general, dicha energía se puede estimar, de manera simplificada, con la siguiente ecuación:

$$E_G = P_P * R_S * R_T \quad (3)$$

en la cual, no se ha considerado las pérdidas asociadas al ensuciamiento, desacoplamiento entre MFVs y las pérdidas inherentes a la tecnología consideradas por el fabricante en su especificación de garantía; tampoco se consideran las posibles degradaciones asociadas a la exposición por luz (LID), altas temperaturas (LETID) y potenciales eléctricos inducidos (PID). En la ecuación anterior, P_P representa la potencia pico a instalar; R_S es el Recurso Solar de la localidad, promedio diario anual (Wh/m^2); R_T es el Rendimiento Térmico en la Potencia máxima de la tecnología fotovoltaica calculado con base en la climatología de la localidad (irradiancia, temperatura ambiente media y velocidad de viento) y su Coeficiente de Pérdida por Temperatura en la Potencia (γ). En la Ecuación (3) no se está considerando también las pérdidas asociadas a: mala orientación y ángulo de inclinación no óptimo; efectos por la aparición de puntos calientes; micro fracturas; u otro tipo de defecto no identificado visualmente.

Tabla 2: Magnitud de la Potencia Pico de Plantas de Generación Eléctrica Fotovoltaica como una propuesta para convertir Unidades de Producción Agrícola Protegida a Unidades de Sistemas Agrovoltaicos

Estimación de la Potencia Pico Fotovoltaica para la conversión hacia Sistemas Agrovoltaicos								
ESTADO	MALLA SOMBRA (ha)	P _P (AFV) (MW)	INVERNADERO (ha)	P _P (AFV) (MW)	MACRO TÚNEL (ha)	P _P (AFV) (MW)	MS&INV&MT RIEGO (ha)	P _P (AFV) (MW)
AGUASCALIENTES	7.50	7.50	130.44	130.44	97.87	97.87	235.81	235.81
BAJA CALIFORNIA	764.72	764.72	123.15	123.15	SIN DATOS		887.87	887.87
BAJA CALIFORNIA SUR	1,659.00	1,659.00	510.25	510.25	3.00	3.00	2,172.25	2,172.25
COAHUILA	271.50	271.50	527.20	527.20	SIN DATOS		798.70	798.70
COLIMA	SIN DATOS		142.75	142.75	SIN DATOS		142.75	142.75
CHIAPAS	121.03	121.03	41.09	41.09	SIN DATOS		162.12	162.12
CHIHUAHUA	87.00	87.00	17.60	17.60	SIN DATOS		104.60	104.60
CDMX	SIN DATOS		137.80	137.80	SIN DATOS		137.80	137.80
DURANGO	10.00	10.00	334.32	334.32	SIN DATOS		344.32	344.32
GUANAJUATO	28.50	28.50	1,243.55	1,243.55	6.00	6.00	1,278.05	1,278.05
GUERRERO	1.21	1.21	99.46	99.46	SIN DATOS		100.67	100.67
HIDALGO	SIN DATOS		301.59	301.59	SIN DATOS		301.59	301.59
JALISCO	111.00	111.00	1,539.04	1,539.04	283.50	283.50	1,933.54	1,933.54
MEXICO	SIN DATOS		987.75	987.75	53.00	53.00	1,040.75	1,040.75
MICHOACAN	SIN DATOS		681.63	681.63	3,069.50	3,069.50	3,751.13	3,751.13
MORELOS	SIN DATOS		881.50	881.50	SIN DATOS		881.50	881.50
NAYARIT	SIN DATOS		114.50	114.50	SIN DATOS		114.50	114.50
NUEVO LEÓN	10.00	10.00	142.00	142.00	SIN DATOS		152.00	152.00
OAXACA	SIN DATOS		570.83	570.83	SIN DATOS		570.83	570.83
PUEBLA	7.00	7.00	1,134.44	1,134.44	1.85	1.85	1,143.29	1,143.29
QUERÉTARO	SIN DATOS		341.13	341.13	SIN DATOS		341.13	341.13
QUINTANA ROO	SIN DATOS		27.85	27.85	SIN DATOS		27.85	27.85
SAN LUIS POTOSI	1,719.74	1,719.74	631.70	631.70	SIN DATOS		2,351.44	2,351.44
SINALOA	6,905.48	6,905.48	1,908.53	1,908.53	SIN DATOS		8,814.01	8,814.01
SONORA	2,997.50	2,997.50	188.10	188.10	SIN DATOS		3,185.60	3,185.60
TABASCO	SIN DATOS		SIN DATOS		SIN DATOS			0.00
TAMAULIPAS	220.00	220.00	SIN DATOS		18.00	18.00	238.00	238.00
TLAXCALA	SIN DATOS		42.50	42.50	SIN DATOS		42.50	42.50
VERACRUZ	SIN DATOS		34.00	34.00	SIN DATOS		34.00	34.00
YUCATAN	21.00	21.00	20.78	20.78	SIN DATOS		41.78	41.78
ZACATECAS	85.00	85.00	595.46	595.46	4.25	4.25	684.71	684.71
TOTALES	15,027.18	15,027.18	13,450.94	13,450.94	3,536.97	3,536.97	32,015.09	32,015.09

Para los fines propios de la estimación de la energía que se puede generar en aquellas zonas del país dedicadas a la Agricultura Protegida en sus tres variantes, Malla Sombra, Invernadero y Macro Túnel, se decidió ubicar dichos sitios en lugares cercanos a fuentes de agua o cuencas hidrológicas tomando como base la información gubernamental de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

(SEMARNAT) [19]. Habiendo identificados dichos sitios y su ubicación geográfica (Latitud, Longitud y altitud) se procedió a seleccionar una fuente de información, de acceso gratuito y confiable que permita el acceso a la Base de Datos para el Recurso Solar (R_S) de cada uno de los sitios seleccionados. Dentro de las disponibles, la más confiable es la que proporciona la NASA en su respectiva página electrónica [20].

Por otra parte, la determinación del Rendimiento Térmico de la Tecnología Fotovoltaica (R_T), para cada una de las localidades, se realizó seleccionando la TFV de silicio monocristalino por ser la de mayor eficiencia de conversión fotovoltaica con un valor para $\gamma = -0.45\%/^{\circ}\text{C}$, y usando los datos de temperatura promedio máxima proporcionados por el Sistema meteorológico Nacional [21, 22].

Los valores del Recurso Solar y el Rendimiento Térmico para cada uno de los sitios seleccionados se muestran en la **Tabla 3**. Con ellos y usando la Potencia Pico calculada para cada una de las zonas dedicadas a la Agricultura Protegida y a partir de la Ecuación (3) se estimó la Energía Eléctrica que se puede generar si se aprovecha las zonas agrícolas anteriores como superficies agrovoltaicas.

Como podrá identificarse, la magnitud de la energía disponible puede fácilmente proveer la electricidad requerida para los fines productivos asociados al cultivo agrícola.

Con base en información de la Secretaría de Energía SENER [Tabla 2.2 Ref. 23], la venta anual de energía eléctrica en el año 2022 de suministro básico para los sectores Comercial, Industrial, Agrícola, Domestico y Servicios, fue de 214,594 GWh. Si se compara dicho valor con aquel mostrado en la Tabla 3 que totalizó un valor anual aproximado de 61,496.4 GWh, se tiene que, si las zonas dedicadas a la Agricultura Protegida se convierten en Sistemas Agrovoltaicos, éstas pueden suministrar al Sistema Eléctrico Nacional una aportación del 29% de la energía que se consumió en el año 2022

El resultado anterior da una idea de la gran importancia energética que tienen los Sistemas de aprovechamiento dual de las superficies dedicadas a la Agricultura Controlada convirtiéndolas en Sistemas Agrovoltaicos. Es claro que se debe realizar un estudio económico completo así como los estudios sociales pertinentes para la implementación y adopción de este tipo de tecnología.

Tabla 3: Estimación de la Energía Eléctrica que se puede generar en cada una de las zonas dedicadas a la Agricultura Protegida. Los valores se obtuvieron usando la Ecuación (3) con los datos de la Potencia Pico calculada, el Recurso Solar proporcionado en la base de datos correspondientes y Rendimiento Térmico considerado en cada sitio.

DATOS GEOGRÁFICOS; RECURSO SOLAR (Promedio Diario Anual); RENDIMIENTO TÉRMICO DE LA TFV ("Promedio diario anual")					MALLA SOMBRA		INVERNADERO		MACRO TÚNEL		MALLA SOMBRA-INVERNADERO-MACRO TÚNEL		ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ANUAL
ESTADO FEDERATIVO	UBICACIÓN		R _s (pda)	R _r (pda)	P _p (AFV)	ENERGÍA (pda)	P _p (AFV)	ENERGÍA (pda)	P _p (AFV)	ENERGÍA (pda)	P _p (AFV)	ENERGÍA (pda)	ENERGÍA ANUAL
	LAT	LONG	kWh/m ²		(MW)	(MWh)	(MW)	(MWh)	(MW)	(MWh)	(MW)	(MWh)	
AGUASCALIENTES	21.874	-102.297	6.27	0.881	7.5	41.42	130.44	720.33	97.87	540.47	235.81	1,302.21	475,308.17
BAJA CALIFORNIA	25.277	-111.67	6.42	0.881	764.72	4,324.04	123.15	696.34			887.87	5,020.39	1,832,440.69
BAJA CALIFORNIA SUR	32.355	-116.13	6.26	0.864	1659	8,969.30	510.25	2,758.64	3	16.22	2,172.25	11,744.16	4,286,617.98
COAHUILA	27.14	-101.485	5.65	0.873	271.5	1,338.62	527.2	2,599.35			798.70	3,937.97	1,437,358.46
COLIMA	19.248	-103.792	5.87	0.852			142.75	713.89			142.75	713.89	260,568.07
CHIAPAS	16.596	-93.058	5.39	0.865	121.03	564.58	41.09	191.68			162.12	756.25	276,032.49
CHIHUAHUA	28.481	-106.043	6.31	0.885	87	485.73	17.6	98.26			104.60	583.99	213,156.72
CDMX	19.277	-99.095	5.64	0.897			137.8	697.10			137.80	697.10	254,442.36
DURANGO	24.03	-104.545	6.25	0.882	10	55.13	334.32	1,843.15			344.32	1,898.28	692,871.91
GUANAJUATO	20.886	-101.563	6.15	0.879	28.5	154.06	1243.55	6,722.06	6	32.43	1,278.05	6,908.55	2,521,622.06
GUERRERO	16.754	-99.201	6.06	0.856	1.21	6.28	99.46	516.21			100.67	522.49	190,707.41
HIDALGO	20.218	-98.448	5.12	0.890			301.59	1,374.59			301.59	1,374.59	501,726.86
JALISCO	20.979	-102.475	6.13	0.869	111	591.02	1539.04	8,194.65	283.5	1,509.50	1,933.54	10,295.17	3,757,736.51
MEXICO	19.459	-99.698	5.64	0.901			987.75	5,019.39	53	269.33	1,040.75	5,288.72	1,930,381.64
MICHOACAN	19.052	-102.2	5.84	0.879			681.63	3,500.64	3069.5	15,764.02	3,751.13	19,264.66	7,031,602.12
MORELOS	18.853	-98.886	6.21	0.869			881.5	4,754.82			881.50	4,754.82	1,735,507.95
NAYARIT	21.873	-105.252	5.93	0.852			114.5	578.77			114.50	578.77	211,249.89
NUEVO LEÓN	26.053	-99.49	5.31	0.874	10	46.43	142	659.35			152.00	705.79	257,611.92
OAXACA	16.801	-96.689	5.69	0.873			570.83	2,835.85			570.83	2,835.85	1,035,084.75
PUEBLA	19.012	-97.74	5.2	0.887	7.00	32.27	1134.44	5,230.13	1.85	8.53	1,143.29	5,270.93	1,923,890.45
QUERÉTARO	20.671	-100.002	6.05	0.885			341.13	1,826.08			341.13	1,826.08	666,520.13
QUINTANA ROO	19.671	-88.092	5.2	0.859			27.85	124.36			27.85	124.36	45,390.28
SAN LUIS POTOSI	22.266	-100.983	5.82	0.870	1,719.74	8,707.23	631.7	3,198.37			2,351.44	11,905.60	4,345,542.91
SINALOA	25.679	-108.399	6.24	0.853	6,905.48	36,749.47	1908.53	10,156.78			8,814.01	46,906.26	17,120,783.95
SONORA	29.102	-111.2	6.53	0.858	2,997.50	16,799.11	188.1	1,054.18			3,185.60	17,853.29	6,516,450.50
TAMAULIPAS	24.924	-98.214	5.29	0.865	220.00	1,006.16			18	82.32	238.00	1,088.49	397,297.30
TLAXCALA	19.502	-98.194	5.71	0.898			42.5	217.89			42.50	217.89	79,528.30
VERACRUZ	20.199	-97.062	4.59	0.871			34	135.98			34.00	135.98	49,630.90
YUCATAN	20.971	-89.017	5.44	0.853	21.00	97.48	20.78	96.46			41.78	193.94	70,788.38
ZACATECAS	22.83	-102.688	6.25	0.883	85.00	468.85	595.46	3,284.52	4.25	23.44	684.71	3,776.82	1,378,538.41
TOTAL					15,027.18	80,437.20	13,450.94	69,799.80	3,536.97	18,246.26	32,015.09	168,483.26	61,496,389.45

Captura y Recolección de agua de lluvia

Existen varias fuentes de datos a nivel nacional que proporcionan los niveles de precipitación pluvial anual para la República Mexicana. Por ejemplo, el Banco Mundial indica en una de sus fuentes que la precipitación anual promedio de 20 años para todo el país es de 758 mm [24]; entonces para cada hectárea de terreno en la cual el factor de ocupación del SFV es del 50%, la cubierta FV puede captar 3,790 m³ al año; por lo que, considerando la superficie total que se ocupa para la Agricultura Protegida, solamente las cubiertas fotovoltaicas pueden captar la cantidad de 121,337,191 m³ anuales.

Por otra parte, la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) proporciona un Mapa de la precipitación anual, el cual se muestra en la Figura 10 [25].

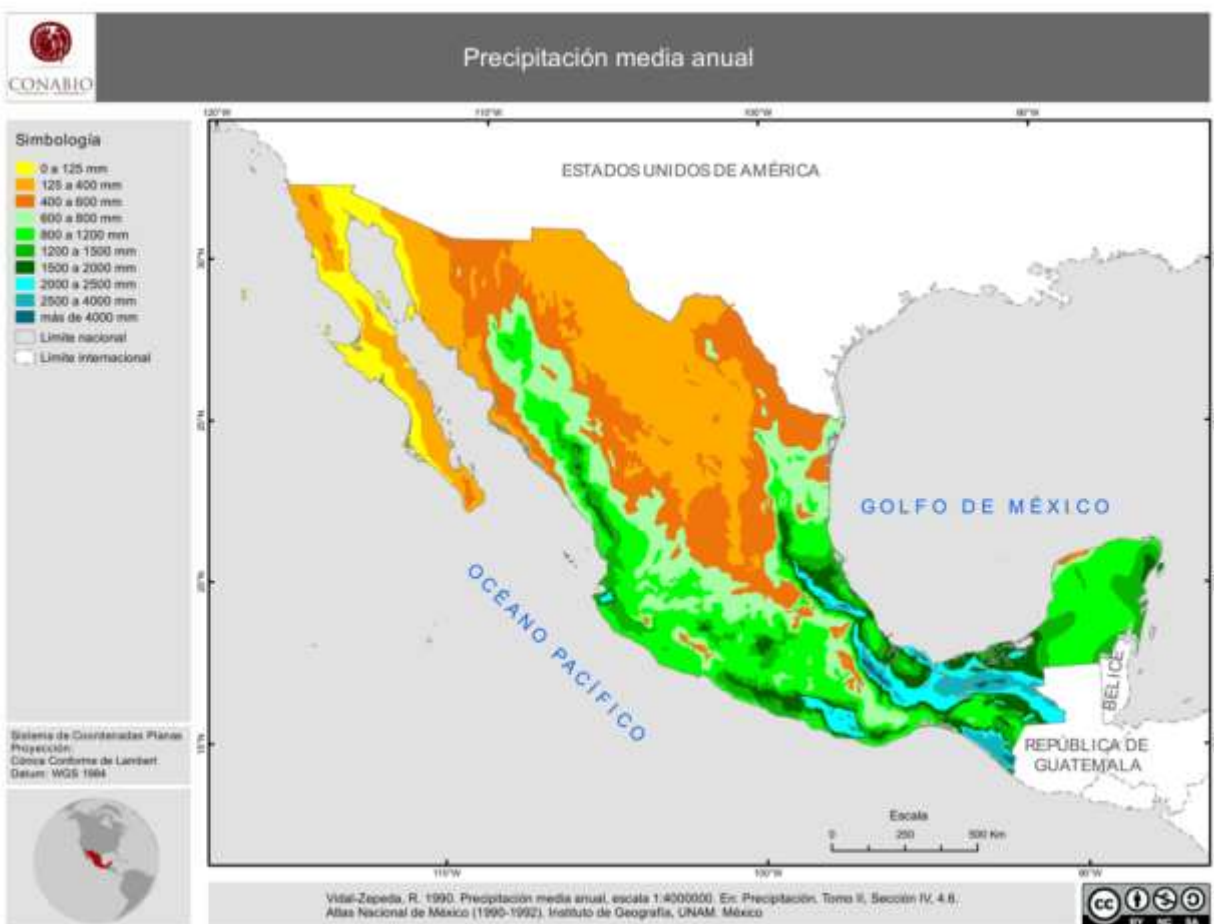


Figura 10: Mapa de la Precipitación Anual. Fuente Atlas Nacional de México (1990-1992), Instituto de Geografía, UNAM, México

Otra fuente de información es la que provee la Comisión Nacional del Agua que para el 2022 proporciona una Tabla de Valores [26] promedio diario mensual de la precipitación media mensual y media anual en cada Estado Federativo. Si se considera dicha Tabla y se toma como referencia la precipitación anual,

entonces, el potencial de captación de agua de lluvia, captura y recolección, por las cubiertas fotovoltaicas para las zonas que desarrolla Agricultura Protegida, es el que se muestra en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Estimación de la Captura y recolección de agua de lluvia por las cubiertas fotovoltaicas en los Sistemas Agrovoltaicos que se pueden implementar en las zonas de desarrollo de la Agricultura Protegida en México

Estimación de la Captura y recolección del Agua de Lluvia por las cubiertas fotovoltaicas en los Sistemas Agrovoltaicos asociados a la Agricultura Protegida									
ESTADO	PRECIPITACIÓN ANUAL	MALLA SOMBRA	CAPTURA	INVERNADERO	CAPTURA	MACRO TÚNEL	CAPTURA	MS&INV&M T RIEGO	CAPTURA
	(mm)	(ha)	m ³	(ha)	m ³	(ha)	m ³	(ha)	m ³
AGUASCALIENTES	390.00	7.50	14,625.00	130.44	254,358.00	97.87	190,846.50	235.81	459,829.50
BAJA CALIFORNIA	123.80	764.72	473,361.68	123.15	76,229.85		0.00	887.87	549,591.53
BAJA CALIFORNIA SUR	360.20	1,659.00	2,987,859.00	510.25	918,960.25	3.00	5,403.00	2,172.25	3,912,222.25
COAHUILA	261.40	271.50	354,850.50	527.20	689,050.40		0.00	798.70	1,043,900.90
COLIMA	1,477.30		0.00	142.75	1,054,422.88		0.00	142.75	1,054,422.88
CHIAPAS	2,054.00	121.03	1,242,978.10	41.09	421,994.30		0.00	162.12	1,664,972.40
CHIHUAHUA	472.80	87.00	205,668.00	17.60	41,606.40		0.00	104.60	247,274.40
CDMX	552.80		0.00	137.80	380,879.20		0.00	137.80	380,879.20
DURANGO	502.30	10.00	25,115.00	334.32	839,644.68		0.00	344.32	864,759.68
GUANAJUATO	480.10	28.50	68,414.25	1,243.55	2,985,141.78	6.00	14,403.00	1,278.05	3,067,959.03
GUERRERO	1,170.70	1.21	7,082.74	99.46	582,189.11		0.00	100.67	589,271.85
HIDALGO	447.60		0.00	301.59	674,958.42		0.00	301.59	674,958.42
JALISCO	859.30	111.00	476,911.50	1,539.04	6,612,485.36	283.50	1,218,057.75	1,933.54	8,307,454.61
MEXICO	849.10		0.00	987.75	4,193,492.63	53.00	225,011.50	1,040.75	4,418,504.13
MICHOACAN	760.80		0.00	681.63	2,592,920.52	3,069.50	11,676,378.00	3,751.13	14,269,298.52
MORELOS	1,333.80		0.00	881.50	5,878,723.50		0.00	881.50	5,878,723.50
NAYARIT	1,233.20		0.00	114.50	706,007.00		0.00	114.50	706,007.00
NUEVO LEÓN	400.70	10.00	20,035.00	142.00	284,497.00		0.00	152.00	304,532.00
OAXACA	1,194.40		0.00	570.83	3,408,996.76		0.00	570.83	3,408,996.76
PUEBLA	939.40	7.00	32,879.00	1,134.44	5,328,464.68	1.85	8,689.45	1,143.29	5,370,033.13
QUERÉTARO	374.30		0.00	341.13	638,424.80		0.00	341.13	638,424.80
QUINTANA ROO	1,292.30		0.00	27.85	179,952.78		0.00	27.85	179,952.78
SAN LUIS POTOSI	430.40	1,719.74	3,700,880.48	631.70	1,359,418.40		0.00	2,351.44	5,060,298.88
SINALOA	855.80	6,905.48	29,548,548.92	1,908.53	8,166,599.87		0.00	8,814.01	37,715,148.79
SONORA	558.10	2,997.50	8,364,523.75	188.10	524,893.05		0.00	3,185.60	8,889,416.80
TAMAULIPAS	487.30	220.00	536,030.00		0.00	18.00	43,857.00	238.00	579,887.00
TLAXCALA	498.80		0.00	42.50	105,995.00		0.00	42.50	105,995.00
VERACRUZ	1,502.90		0.00	34.00	255,493.00		0.00	34.00	255,493.00
YUCATAN	1,154.70	21.00	121,243.50	20.78	119,973.33		0.00	41.78	241,216.83
ZACATECAS	364.40	85.00	154,870.00	595.46	1,084,928.12	4.25	7,743.50	684.71	1,247,541.62
TOTALES	779.42	15,027.18	48,335,876.42	13,450.94	50,360,701.05	3,536.97	13,390,389.70	32,015.09	112,086,967.16

Si para el cultivo de hortalizas se considera un requerimiento de agua de 5,000 m³ por hectárea por año [27], se puede constatar que el volumen de agua que se puede captar por las cubiertas fotovoltaicas en cada estado puede ser muy significativo en la aportación del vital líquido para el riego de los cultivos. Para los cultivos bajo Malla Sombra, la aportación más baja del agua que puede ser captada por las cubiertas fotovoltaicas al riego de cultivos, corresponde a Baja California con un 24.76%; mientras que la más alta corresponde a Chiapas, la cual es 2.05 veces mayor que el requerimiento.

Esta enorme cantidad de agua que se puede captar, se desperdicia actualmente y puede representar un volumen ideal para mitigar la demanda de agua en los cultivos respectivos de cada zona de producción.

Los Sistemas Agrovoltaicos en aplicaciones de Generación Agrovoltaica Distribuida

La capacidad instalada de tecnología fotovoltaica en el sector residencial y de pequeños negocios para fines de generación distribuida ha tenido un crecimiento constante en México durante la última década y,

según datos gubernamentales emitidos en el PRODESEN 2023 [28], se espera que para el 2027 la capacidad instalada de la generación distribuida a nivel nacional alcance los 5,627 MW, lo que representaría un crecimiento del 181.5% respecto al cierre del 2022, así como un incremento promedio anual de 632 MW (SENER, 2023).

De este incremento esperado en la Generación Distribuida, se debe tomar en cuenta que, el 99.34% de la capacidad instalada histórica en México (2023) corresponde a tecnología solar fotovoltaica (ver Figura 11).

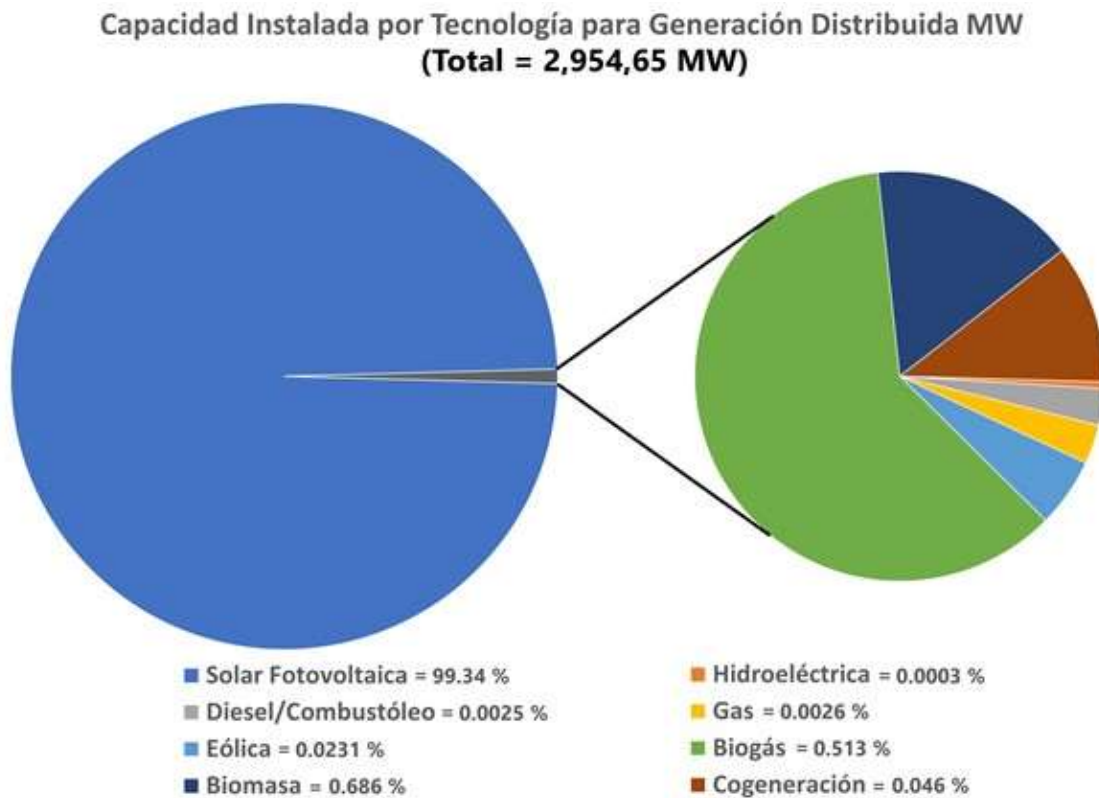


Figura 11: Tecnologías que integran la capacidad instalada de la Generación Distribuida del Sistema Eléctrico Nacional en México. Con datos de (CRE, 2023).

Según la segunda edición del Monitor de información comercial e Índice de Precios de Generación Solar Distribuida en México [29, 30] (GIZ, 2021), los usuarios que demandan instalaciones entre los rangos de 0 a 5 kWp y 5 a 15 kWp pertenecen al sector residencial; por otro lado, las instalaciones de 15 a 30 kWp, pertenecen regularmente a pequeños negocios. Ambas categorías de usuarios, generalmente cuentan con espacios libres en sus azoteas, capaces de albergar sistemas agrovoltaicos pequeños y, como se puede apreciar en la Figura 12, en conjunto, representan el 60% de todos los sistemas que integran la capacidad fotovoltaica instalada de la Generación Distribuida en México (CRE, 2023).

Rangos de Potencia Pico Instalada FV para Generación Distribuida

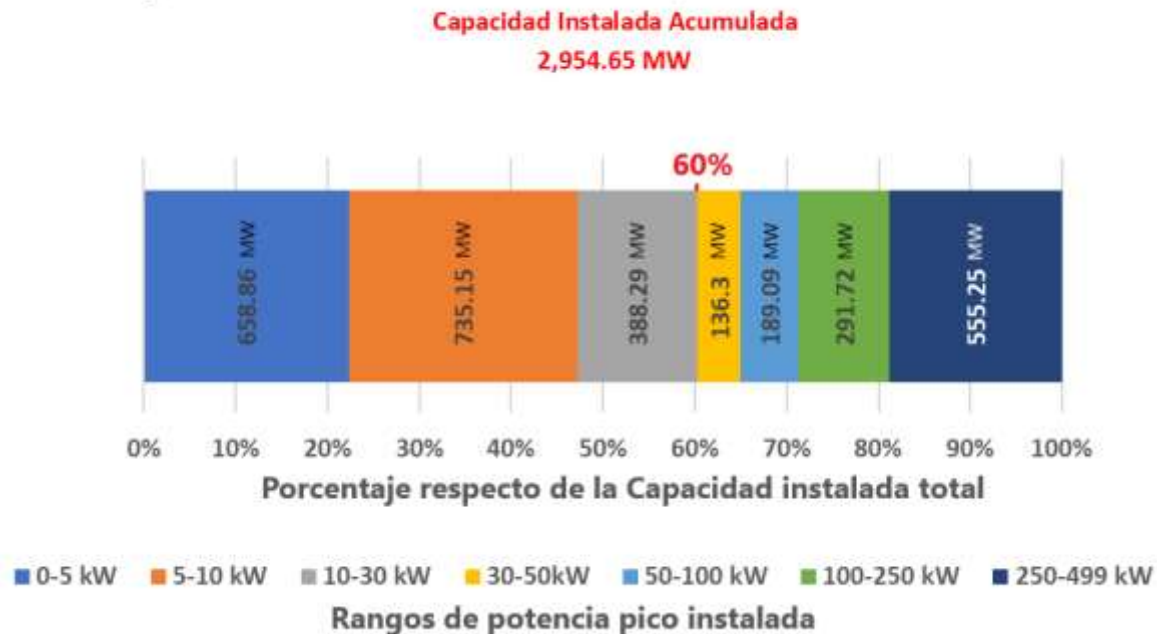


Figura 12: Partición de la capacidad instalada en Generación Distribuida para los sistemas fotovoltaicos correspondientes al sector residencial y de pequeños comercios. Con datos de (CRE, 2023).

Si se tiene un crecimiento anual promedio esperado de 632 MW para los próximos años, donde el 99.34% estará compuesto por tecnología fotovoltaica y el 60% corresponde a instalaciones residenciales y de pequeños negocios, entonces podemos estimar un potencial de aplicación de por lo menos 376 MW anuales de sistemas Fotovoltaicos que tienen el potencial para ser transformados, desde el diseño inicial, en Sistemas de Generación Agrovoltaica Distribuida para el sector Urbano y de pequeños negocios.

Un hogar promedio en México tiene un consumo eléctrico aproximado de 280 kWh al mes, con un costo aproximado de \$272.5 pesos (CFE 2022). Este consumo puede ser cubierto con un sistema FV de 2.0 kW integrado por 4 módulos de 550 W aproximadamente. Lo que representaría un espacio de 8 m² cubierto con MFV, bajo el cual se podrían cultivar especies vegetales comestibles en aplicaciones de Generación Agrovoltaica Distribuida. En la **Figura 13** se puede observar un sistema agrovoltaico residencial [31].

La implementación de un Sistema Agrovoltaico en los hogares puede ayudar a disminuir el costo de la electricidad al mismo tiempo que pueden ser adecuados como cubierta para actividades de horticultura protegida.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) asegura que los huertos urbanos pueden ser mucho más ecológicos y eficientes que los tradicionales, llegando a producir hasta 20 kg anuales de alimentos por m² [32]

Tener un huerto urbano de vegetales y hortalizas (ya sea agrovoltaico o convencional) de entre cuatro y cinco metros cuadrados puede representar ahorros de entre 60% y 70% de los gastos destinados a la compra de estos productos para una familia de cuatro integrantes [33]



Figura 13: Ejemplo de un sistema Agrovoltaico residencial de aproximadamente 10 metros cuadrados [31]

Por otra parte, aunado a que la implementación de un Sistema Agrovoltaico residencial puede tener beneficios directos en la resiliencia energética y alimentaria de los hogares, también conlleva otros beneficios como los que se enlistan a continuación:

- 1) Se producen alimentos con la certeza de saber que se están obteniendo productos libres de agroquímicos nocivos para la salud humana
- 2) Se mejora la calidad de la alimentación para todos los integrantes del hogar
- 3) Se fomenta la integración y comunicación de la comunidad en general para apoyar y fomentar el uso de esta tecnología
- 4) Se reducen las emisiones de carbono en los ambientes urbanos y se contribuye a la captura de carbono mediante actividad agrícola
- 5) Se fomenta la conservación de los espacios verdes urbanos y se refuerza la conexión de la comunidad con las actividades agrícolas necesarias para el correcto funcionamiento de la sociedad.

Conclusiones

Los Recursos de Energía Solar son abundantes en México, ofreciendo nichos de oportunidad para la generación de electricidad en el ámbito rural y urbano mediante la implementación de Sistemas Fotovoltaicos. Estos son una alternativa tecnológica económica para la generación de electricidad en el ámbito rural fortaleciendo las actividades agropecuarias y son diseñados a partir de requerimientos y necesidades energéticas específicas propias de cada proyecto. Además, son una alternativa ecológica para la generación de electricidad debido a que no provoca desechos contaminantes ni contribuye al deterioro ambiental.

El uso de los Sistemas Fotovoltaicos bajo el concepto Agrovoltaico proporciona todos los beneficios mencionados anteriormente con el plus extra de que la tierra abajo de la cubierta FV es usada como zona de cultivo de alto rendimiento para determinadas especies vegetales, aspecto que ha sido demostrado con los diferentes proyectos reportados a nivel mundial.

Las especies vegetales comestibles que se cultivan bajo el concepto de Agricultura Protegida, son las mejores candidatas a ser cultivadas bajo el concepto agrovoltaico; para ellas, con base en la cantidad de hectáreas dedicadas a dicha actividad se determinó la magnitud de la Potencia Pico de los Sistemas Fotovoltaicos que se pueden instalar bajo el concepto agrovoltaico. Usando un Factor de Ocupación del 50% para los arreglos fotovoltaicos ($S_A = 0.5 S_D$) con MFV con una eficiencia del 20%, la Potencia Pico que se puede instalar sobre estructuras elevadas es la siguiente:

Para el caso de especies cultivadas con **mallá sombra**, se puede instalar **15,027.18 MW** de potencia Fotovoltaica; para especies cultivadas en **invernaderos**, el cálculo arroja **13,450.54 MW**; y para **macro túnel**, la cantidad es de **3,536.97 MW**; los tres métodos de cultivo arrojan una **Potencia Pico Total con una capacidad de 32,015.09 MW**; es decir, **del orden de 32 GW**.

Cabe destacar que para el cierre de 2023, la SENER reporta que se tienen alrededor de 10.5 GW de capacidad instalada fotovoltaica en México, por lo que, el potencial de instalación de Sistemas Agrovoltaicos para la Agricultura Protegida es casi 3 veces mayor a todo lo que se ha instalado de tecnología solar fotovoltaica convencional dentro de territorio nacional.

Con base en datos climatológicos para cada estado, se ha estimado una generación anual de energía agrovoltaica aproximada de 61,496.4 GWh. Con base en información de la Secretaría de Energía SENER [Tabla 2.2 Ref. 23], la venta anual de energía eléctrica en el año 2022 de suministro básico para los sectores Comercial, Industrial, Agrícola, Doméstico y Servicios, fue de 214,594 GWh. Si se compara dicho valor con el valor estimado agrovoltaico, se tiene que, si las zonas dedicadas a la Agricultura Protegida se convierten en Sistemas Agrovoltaicos, éstas pueden suministrar al Sistema Eléctrico Nacional una aportación del 29% de la energía que se consumió en el año 2022.

Por otra parte, la estimación de la captura de agua por las cubiertas fotovoltaicas para los proyectos AFV de las Entidades Federativas consideradas, asciende a un monto anual de 224,173,934.32 m³, volumen que en muchos estados puede aportar un porcentaje alto de los requerimientos de agua de los cultivos bajo sombra.

Los Sistemas Agrovoltaicos tienen un gran potencial para ser implementados directamente en el sector agrícola Mexicano y, en menor medida, pero no menos importante, en el sector residencial y de pequeños

negocios. Es necesario que los sistemas fotovoltaicos que se vayan a instalar de aquí en adelante en estos sectores, sean diseñados desde el principio para poder albergar cultivos comestibles debajo.

La transformación de los espacios cotidianos libres en espacios destinados a la Generación Agrovoltaica Distribuida es una vía para combatir la contaminación, el cambio climático, la falta de empleo, la falta de alimento y la creciente demanda eléctrica.

México debe aprovechar el gran potencial que tiene para la implementación de esta tecnología. No se pueden desperdiciar las condiciones climatológicas privilegiadas con las que se cuenta dentro de territorio nacional.

El resultado anterior da una idea de la gran importancia energética que tienen los Sistemas de aprovechamiento dual de las superficies dedicadas a la Agricultura Controlada convirtiéndolas en Sistemas Agrovoltaicos. Es claro que se debe realizar un estudio económico completo así como los estudios sociales pertinentes para la implementación y adopción de este tipo de tecnología.

El proyecto PASE que se está implementando y desarrollando en el CEPIPSA-FMVZ bajo la dirección de investigadores del IER, ambas, dependencias de la UNAM, con el financiamiento de la SECTEI-CDMX, es un proyecto que proporcionará los alcances descritos anteriormente, pero sobre todo que servirá como base para el desarrollo de muchos proyectos en las parcelas agrícolas ubicadas en aquellas zonas que han sido catalogadas como de conservación como lo es el área chinampera de Xochimilco y Tláhuac.

Referencias

- [1]. CRE Comisión Reguladora de Energía (2023). Estadísticas al Primer Trimestre 2023; Comisión Reguladora de Energía: *Solicitudes de Interconexión de Centrales Eléctricas con Capacidad Menor a 0.5 MW.- Contratos de Interconexión de Pequeña y Mediana Escala y Generación Distribuida*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/850976/Estadisticas_GD_2023_Primer_Semestre_2023.pdf
- [2]. Francovich Gabriela (2024): *Inventario Asolmex.- La capacidad fotovoltaica en México alcanzó los 10,479 MW*; Energía Estratégica; 14 de marzo 2024. <https://www.energiaestrategica.com/inventario-asolmex-la-capacidad-fotovoltaica-en-mexico-alcanzo-los-10479-mw/>
- [3]. INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía: Censo Agropecuario 2022.- Comunicado de prensa No. 667/23. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf
- [4]. FIRCO-SAGARPA Fideicomiso de Riesgo Compartido; Programas de Energías Renovables; 2000-2016 <https://www.gob.mx/firco/articulos/energia-renovable-y-eficiencia-energetica-en-el-agro-mexicano>
- [5]. Goetzberger A, Zastrow A (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *Int J Solar Energy* 1:55–69. <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>
- [6]. Marrou H, Wery J, Dufour L, Dupraz C (2013) *European J Agron* 44(2013)54–66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>
- [7]. Greg A. Barron-Gafford, et al: (2019) Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands; *Nature Sustainability*; DOI: 10.1038/s41893-019-0364-5
- [8]. Dinesh H, Pearce J M (2016); *Renew Sust Energ Rev* 54:299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- [9]. <https://ecoinventos.com/invernaderos-solares-energia-agrovoltaiica/>
- [10]. <https://www.electrosolaribiza.es/blog/agricultura-y-energia-solar-un-matrimonio-feliz/>
- [11]. <https://embamex.sre.gob.mx/eua/index.php/es/enterate/391-acerca-de-mexico>
- [12]. Aarón Sánchez Juárez; Parcela Agrovoltaiica, Sostenible y Educacional: proyecto desarrollado e implementado por el Instituto de Energías Renovables de la UNAM 2023-2024, financiado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México SECTEI/220/2022:
- [13]. Touil, S., Richa, A., Fizir, M., & Bingwa, B. (Junio de 2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production. *Environ Sci Biotechnol*. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09572-2>
- [14]. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- [15]. Aarón Sánchez Juárez, Dalia Martínez Escobar, Rocío de la Luz Santos Magdaleno, José Ortega Cruz y Pedro Andrés Sánchez Pérez (2017); “*Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los sectores residencial, servicio e industrial: Dimensionamiento y diseño de sistemas fotovoltaicos*”; Instituto de Energías Renovables UNAM; ISBN: 978-523-04-1732-3; publicado en la web: http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/produccion_cientifica_libro_fotovoltaico_4.html
- [16]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- [17]. Imagen Agropecuaria; <https://imagenagropecuaria.com/2023/agricultura-prottegida-crece-en-mexico-y-aporta-alimentos-y-ornamentales/>

- [18]. Axel Weselek, Andrea Ehmann, Sabine Zikeli, Iris Lewandowski, Stephan Schindele, Petra Högy (2019); Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review; *Agronomy for Sustainable Development* 39:35; <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
- [19]. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; https://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas_agua.pdf
- [20]. Base de datos del Recurso Solar; NASA; <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [21]. Sistema Meteorológico Nacional ; Comisión Nacional del Agua; <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/TMED/2022.pdf>
- [22]. Sistema Meteorológico Nacional ; Comisión Nacional del Agua; <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/TMAX/2000.pdf>
- [23]. Secretaría de Energía; Prospectivas 2023-2027; https://base.energia.gob.mx/Prospectivas23/PSE_23-37_VF.pdf
- [24]. Banco Mundial; <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?locations=MX>
- [25]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/preci4mqw>
- [26]. Comisión Nacional del Agua; <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2022.pdf>
- [27]. Empresa de riego; <https://bascomex.com/blogs/news/cuantos-litros-de-agua-se-necesitan-para-regar-una-hectarea>
- [28]. SENER. (2023). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2023-2037. Obtenido de Gobierno de México. Secretaría de Energía: <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2023-2037>
- [29]. ASOLMEX. Asociación Mexicana de Energía Solar. https://asolmex.org/intranet/Micrositio_GSD/Monitor-Indice-de-Precios/Monitor_precios_GSD_reporte2aedicion_oct2021.pdf
- [30]. AMIF, ANES, ASOLMEX, & GIZ. (2021). *Monitor de información comercial e Índice de Precios de Generación Solar Distribuida en México Segunda edición.*
- [31]. Greensess-Energy-Private-Limited. (2021). IndiaMART; Roof Top On Grid Solar Power Systems: <https://m.indiamart.com/proddetail/roof-top-on-grid-solar-power-systems-24750106991.html?pos=8&pla=n>
- [32]. Iberdrola. (2023). ¿Qué es un huerto urbano? Obtenido de Descubre cómo hacer un huerto urbano en casa y cuáles son sus ventajas: <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/que-es-un-huerto-urbano#:~:text=La%20Organizaci%C3%B3n%20de%20las%20Naciones,de%20alimentos%20por%20m2.>
- [33]. El Financiero. (2016). El Financiero: Economía, Mercados y Negocios en alianza con BLOOMBERG. Obtenido de ¿Quieres ahorrar en comida? Pon un huerto: <https://www.elfinanciero.com.mx/mis-finanzas/quieres-ahorrar-en-comida-pon-un-huerto/>