

# HUERTOS AGROVOLTAICOS COMUNITARIOS: PROPULSOR DE LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA SUSTENTABLE Y LAS ENERGÍAS LIMPIAS EN TIERRAS ÁRIDAS

Rodolfo Peón Anaya<sup>1,\*</sup>, Rafael Enrique Cabanillas López<sup>2</sup>, Rafael García Gutiérrez<sup>1</sup>, Cuilláhuac Iriarte Cornejo<sup>1</sup>, Carmen Samanha Araiza González<sup>1</sup>, Karla Vanessa Requa Jiménez<sup>1</sup>, Eduwixis Gómez Zavala<sup>1</sup>, Lanyá S. Monti<sup>3</sup>, Gary P. Nabhan<sup>4</sup>, Demetrio Soleto Medina<sup>1</sup>, Ricardo Rodríguez Carrajal<sup>3</sup>

## Introducción

Las tierras áridas también son tierras de abundancia. En contraste con la creencia popular, las tierras áridas son ricas en biodiversidad, albergando a cientos de especies nativas de flora y fauna. En estas tierras que comprenden el 41.2% de la masa continental, también habita actualmente un tercio de la población mundial. A pesar de que el recurso hídrico es escaso, cerca de la mitad la producción agrícola y ganadera mundial también proviene de estas tierras (UN, 2019). Esta enorme labor solo ha sido posible mediante la sobreexplotación de acuíferos, una práctica común a escala global e insostenible a largo plazo. Una vez agotados, una gran parte de los acuíferos sobreexplotados actualmente requerirán de cientos a miles de años para su recarga natural.

Actualmente el 70% del consumo de agua potable a nivel mundial se destina a actividades agrícolas (Steduto et al., 2017). De mantenerse el crecimiento poblacional actual y el uso de técnicas convencionales de riego, implicaría que para el año 2050 se duplicara o inclusive cuadriplicara el consumo de agua potable a nivel mundial (Pugsley et al., 2016). Como consecuencia de este uso excesivo, a corto plazo, expertos coinciden que para el año 2025, la mitad de la población pudiera experimentar algún tipo de escasez hídrica (UNEP, 2016). Cabe resaltar que el 90% de la población que vive en tierras áridas también radica en países en vías de desarrollo, por lo que el uso eficiente del agua es imprescindible para afrontar los retos derivados del cambio climático y el cambio global.



Afortunadamente, existen diversas prácticas y tecnologías probadas que prometen ahorros significativos en el consumo de agua sin comprometer la capacidad productiva (Ritcher, 2014). Entre dichas técnicas se encuentran el riego por goteo, capaz de reducir el consumo de agua hasta en un 90%. Adicionalmente, el uso de protección solar sobre los cultivos es capaz de reducir el consumo en un 50% más. Estas técnicas tendrían una aplicación ideal en México, donde hasta agosto de 2021, 157 acuíferos (24% del total) presentaban sobreexplotación (Rodríguez, 2022). Como puede observarse en la Figura 1, estos acuíferos se encuentran principalmente en las regiones áridas del país, donde a la vez resulta atractiva la producción de energía con sistemas fotovoltaicos.



Figura 1. Resultados en rojo (a) acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2023) y (b) zonas de alto potencial de producción de electricidad con sistemas fotovoltaicos (Global Solar Atlas, 2023).

1. Universidad de Sonora, 2. Comisión Estatal de Energía, 3. Universidad de Guanajuato 4. Universidad de Arizona

\* Autor de correspondencia: rodolfo.peonanaya@unison.mx  
ANES

## Sistemas agrovoltaicos y el nexo agua-energía-alimentación

El acceso en cantidad y calidad al agua potable, energía y alimentos es esencial para el bienestar y el desarrollo humano. Al integrar la provisión de estos tres elementos a escala comunitaria, se hace evidente el estrecho y complejo nexo que existe entre ellos, particularmente cuando la población mundial ha crecido hasta un punto en el cual es posible visualizar los límites planetarios. Esto ha hecho cada vez más frecuente que los sectores energético, hídrico y alimentario entren en conflicto y en ocasiones obligado a la población a priorizar entre la producción de un recurso u otro. Un claro ejemplo es el conflicto actual entre los sectores agrícola y energético por el uso de suelo.

La transición hacia las energías limpias, esencial para mitigar el cambio climático y sus efectos negativos sobre la agricultura, requiere de enormes extensiones de tierra. Esto es particularmente visible cuando la solución implica la implementación de parques fotovoltaicos en tierras que han sido utilizadas para la producción de alimentos. Afortunadamente, la integración de sistemas fotovoltaicos con actividades agrícolas, propuesta en los años 80's por (Goetzberger y Zastrow, 1982) y conocida hoy en día como "sistemas agrovoltaicos", prometen enormes beneficios en las tres dimensiones del nexo de agua-energía-alimentación.

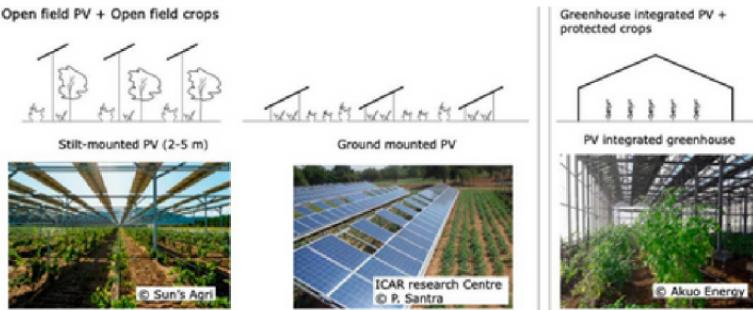


Figura 2. Diferentes topologías de sistemas agrovoltaicos (Toledo y Scognamiglio, 2021).

### Los sistemas agrovoltaicos en tierras áridas

Además de hacer uso óptimo del suelo, los sistemas agrovoltaicos demostraron que la sombra ofrecida por los módulos fotovoltaicos reduce significativamente el estrés térmico sobre las plantas y el suelo; particularmente durante los meses cálidos. En la práctica, esto se ha traducido en un ahorro de agua para riego de hasta un 50%, mientras que en otros casos se ha obtenido el doble de producción con el mismo consumo de agua. Asimismo, se ha observado que la evapotranspiración de las plantas disminuye ligeramente la temperatura de operación de los módulos fotovoltaicos, aumentando por consiguiente su eficiencia (~1%).

Por algunas décadas ya, los sistemas agrovoltaicos han sido evaluados en diferentes partes del mundo, principalmente en países de Europa y Asia, donde existe un fuerte interés por el uso de tecnología fotovoltaica y cuentan con espacio limitado. Durante este tiempo los sistemas agrovoltaicos han demostrado ser una integración altamente efectiva, particularmente con cultivos tolerantes a la sombra (Weselek et al., 2019). A lo largo de los años también se han evaluado múltiples configuraciones de diseño, sin perder la esencia de ser un sistema agrovoltaico. Para simplificar la clasificación de los mismos, (Toledo y Scognamiglio, 2021) propusieron dos tipos: sistemas abiertos y cerrados. Subsecuentemente, los sistemas abiertos los categorizaron como elevados y a nivel de suelo. En los sistemas elevados, los módulos fotovoltaicos se encuentran montados sobre una estructura de 2 a 5 metros de altura, lo que permite el acceso a maquinaria agrícola. Los sistemas a nivel de suelo son empleados para cultivos de baja altura. En el caso de los sistemas agrovoltaicos cerrados, los módulos fotovoltaicos están integrados o son parte del envolvente del área de cultivo, generalmente un invernadero.

Estas características hacen que los sistemas agrovoltaicos sean altamente atractivos para su implementación en regiones áridas, donde la escasez de agua y las altas temperaturas dificultan la producción agrícola, mientras que el recurso solar y la tierra cultivable son abundantes (Burney et al 2010; Dinesh y Pearce, 2016; Randle-Boggis et al, 2021; Barron-Gafford et al., 2019).

Entre los beneficios adicionales que han demostrado ofrecer los sistemas agrovoltaicos, se encuentra el confort térmico para quienes practican actividades agrícolas debajo de los módulos fotovoltaicos y/o para el ganado que se resguarda debajo de ellos. En regiones extremadamente áridas, la protección de la radiación solar directa es crucial para la supervivencia de una gran variedad de cultivos. La protección solar mediante películas plásticas y "malla sombra" han sido utilizadas con éxito en distintas partes del mundo; sin embargo, su vida útil por la exposición a los elementos y al trabajo de campo es generalmente menor a 10 años. El reemplazo de estas protecciones por módulos fotovoltaicos implicaría una solución de sombreado capaz de durar por varias décadas y una reducción en la generación de residuos plásticos que tardan cientos de años en degradarse. Sumado a esto, la gran superficie cubierta por los módulos fotovoltaicos los convierte en potenciales colectores de agua de lluvia y protección de los cultivos contra el granizo.

El nexo agua-energía-alimentación se hizo visible nuevamente con la reciente instalación de dos sistemas fotovoltaicos en la Nación Comcaac, uno de 386kWp en Punta Chueca y otro de 17.5kWp en El Desemboque. Ambos sistemas fueron implementados para compensar el consumo de energía de una planta desalinizadora y un pozo de agua dulce, los cuales proveen de agua potable a ambas localidades, respectivamente. La abundante sombra ofrecida por los sistemas fotovoltaicos y su empleo para un "beneficio común", los convirtió en candidatos ideales para convertirse en huertos agrovoltaicos de uso comunitario.

La conversión de estos sistemas se está llevando a cabo como parte de las actividades del proyecto PRONACE 319483 "Seguridad energética, hídrica y alimentaria para pueblos originarios en regiones costeras semiáridas del Norte de México", financiado por CONACYT. Los resultados de estudios preliminares para la conversión de dichos sistemas fotovoltaicos en huertos agrovoltaicos comunitarios son muy prometedores.



**Figura 3.** Sistemas agrovoltaicos en (a) "Jack's Solar Garden" en Boulder, Colorado (Corbley, 2022) y (b) en la "Biósfera 2" en Tucson, Arizona (créditos Gary P. Nabhan).

## Huertos agrovoltaicos comunitarios para la Nación Comcaac

El árido noroeste de México, donde el desierto de Sonora se encuentra con el Golfo de California, ha sido el hogar desde tiempos inmemorables de la Nación Comcaac; uno de los 68 pueblos originarios de este país. Además de su gran riqueza cultural, de conocimiento tradicional y de biodiversidad, este sitio sagrado para los Comcaac es también uno de los que mayor recurso solar recibe en el planeta. Con una irradiancia global promedio diaria de 5.9 kWh/m<sup>2</sup> (Global Solar Atlas, 2023) y una precipitación pluvial anual cercana a los 200 milímetros (Climate Maps, 2023), la agricultura de temporal sería una tarea extremadamente difícil. Por consiguiente, la subsistencia a partir de los ecosistemas marino y desértico solo ha podido ser posible mediante un conocimiento profundo de las especies nativas. En voces de los propios Comcaac, ellos son los primeros biólogos que estudiaron estas tierras.

En términos de energía, ambos sistemas están sobredimensionados, cubriendo en un 217% y un 147% el consumo diario de la planta desalinizadora de Punta Chueca y del pozo de agua dulce de El Desemboque, respectivamente. Estos datos validados utilizando el Software PVWatts de NREL (PVWatts, 2023) sugieren que existe la posibilidad de aumentar el suministro de agua para la comunidad en el futuro, sin incrementar el gasto en energía eléctrica. Igualmente, usar el excedente de energía para otras actividades productivas.

En términos de agua, la cobertura del recibo de energía eléctrica reduce los gastos de operación y por tanto, más recursos pueden destinarse al mantenimiento de la planta desalinizadora y el pozo para un funcionamiento sin interrupciones por fallas.

En términos de consumo de agua, el cultivo de hortalizas debajo de los módulos solares promete ahorros significativos de agua. Sin embargo, es importante la concientización de los usuarios en el cultivo de especies de bajo consumo de agua. En el caso de Punta Chueca, por cada litro de agua desalinizada que se use para agricultura, uno y medio con el doble de salinidad es devuelto al océano. En el caso de El Desemboque, la razón de extracción de agua debe ser menor a la de recarga natural para evitar el agotamiento del acuífero.



Figura 5a. Representación 3D de huertos agrovoltaicos en (a) Punta Chueca y (b) El Desemboque (Araiza et al, 2022).

En términos de producción de alimentos, los beneficios para la comunidad son inmensos. Actualmente, decenas de familias cuentan ya con huertos familiares, teniendo como principal uso la producción de hortalizas para autoconsumo. Además de generar ahorros familiares, estos aumentan la variedad de alimentos frescos disponibles; los cuales son escasos y costosos localmente. Igualmente, las familias expresan una sensación de bienestar por el cuidado de los huertos, al considerarlos una forma más de estar en contacto con la naturaleza. Cabe mencionar que 30 viviendas en la Nación Comcaac cuentan con sistemas fotovoltaicos de 1.1kWp, los cuales serán convertidos en huertos agrovoltaicos familiares como parte del proyecto PRONACE 319483.

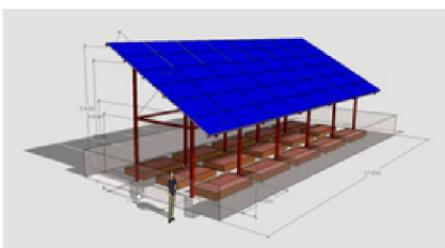


Figura 5b. Representación 3D de huertos agrovoltaicos en (a) Punta Chueca y (b) El Desemboque (Araiza et al, 2022).

En términos de producción de alimentos, los beneficios para la comunidad son inmensos. Actualmente, decenas de familias cuentan ya con huertos familiares, teniendo como principal uso la producción de hortalizas para autoconsumo. Además de generar ahorros familiares, estos aumentan la variedad de alimentos frescos disponibles; los cuales son escasos y costosos localmente. Igualmente, las familias expresan una sensación de bienestar por el cuidado de los huertos, al considerarlos una forma más de estar en contacto con la naturaleza. Cabe mencionar que 30 viviendas en la Nación Comcaac cuentan con sistemas fotovoltaicos de 1.1kWp, los cuales serán convertidos en huertos agrovoltaicos familiares como parte del proyecto PRONACE 319483.

La conversión de los sistemas fotovoltaicos de 386kWp y 11.7kWp en huertos agrovoltaicos comunitarios abre un amplio espectro de posibilidades para actividades agrícolas sustentables en ambas localidades. Dichos huertos pueden destinarse para uso compartido por diferentes familias, para la producción de alimentos para auto consumo o su venta local. Igualmente, pueden destinarse de manera parcial o total para la producción de plantas medicinales y cultivos de alto valor en el mercado. Un análisis realizado por (Araiza et al, 2022) demostraron que la conversión a huertos agrovoltaicos comunitarios de los sistemas fotovoltaicos mencionados anteriormente, representa solo un 5% adicional de su costo capital. Además, que el retorno de inversión de un sistema agrovoltaico de igual capacidad pudiera ser de 5 a 1 año por la venta de chiletepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*); con modos de producción silvestre e industrial, respectivamente.

## Una solución de largo plazo

En términos tecnológicos, los sistemas fotovoltaicos son simples, de mínimo mantenimiento y confiables a largo plazo. Además, esta tecnología ha alcanzado un nivel de madurez en términos de eficiencia que permite visualizar la permanencia de los módulos fotovoltaicos en su sitio por al menos 20 años; antes de ser reemplazados. Es decir, un sistema fotovoltaico puede considerarse una estructura capaz de ofrecer sombra por tiempos mayores a los que ofrecen los equipos agrícolas actuales, a la vez de producir energía y por consiguiente pagarse por sí solo eventualmente. Los sistemas agrovoltaicos pueden además fácilmente adaptarse para la colección de agua de lluvia, la instalación de sistemas hidropónicos, así mismo emplearse para el resguardo de animales de granja y el desarrollo de actividades apícolas. Sumado a esto, ambos huertos agrovoltaicos comunitarios pueden servir para actividades de ecoturismo y la impartición de talleres relacionados con la tecnología agrovoltaica.

Todas estas cualidades de los sistemas agrovoltaicos, sumado al entusiasmo e interés de las familias para el cuidado de sus huertos, permiten predecir su uso a largo plazo en la Nación Comcaac. Sin embargo, el acompañamiento y el dialogo de saberes será crucial para la generación de conocimiento. Aún existe un significativo número de incógnitas referentes a la tecnología agrovoltaica, entre ellas identificar qué alimentos se pueden producir exitosamente y a lo largo de todo el año en las regiones más áridas del mundo usando estos sistemas.

## Conclusiones

Además de ofrecer múltiples beneficios en las tres dimensiones del nexo agua-energía- alimentación, los sistemas agrovoltaicos ofrecen enormes posibilidades para el desarrollo económico en regiones áridas. Entre ellas se encuentra la reactivación y resiliencia de actividades agrícolas afectadas por escasez hídrica y la generación de ingresos adicionales por producción de energía. Por otra parte, el aumento de disponibilidad de energía “ limpia y barata”, incrementa las posibilidades de contar con tarifas eléctricas atractivas para al sector industrial, incentivando su expansión, acompañada del desarrollo económico que esto implica. Por último, al ser un concepto reciente, la tecnología agrovoltaica aún ofrece innumerables oportunidades para la innovación en lo que posiblemente será la principal fuente de energía y alimento en las tierras áridas del futuro.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos el respaldo de nuestras instituciones y todo el apoyo otorgado a la fecha por parte de CONACYT, CONAGUA, INPI, Dirección General de Energía del Gobierno del Estado de Sonora, SEDESOL, CONANP, Fundación Honnold, Borderslands Restoration Network, Color Tierra y la Nación Comcaac, en conjunto con sus autoridades tradicionales



## Referencias

- Araiza-González, C. S. Reyna-Jiménez, K. V., Cabanillas-López, R. E., Sotelo-Medina, D., Hernández-López, I. O., Pina-Ortiz, A., Peón-Anaya, R. (2022). Huertos agrovoltaicos comunitarios: seguridad hídrica, energética y alimentaria para localidades aisladas en regiones áridas. Memorias de XLVI Semana Nacional de Energía Solar. Hermosillo, México, 3 al 7 de octubre de 2022.
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak A. K., Nabhan, G. P. & Macknick, J. E. (2019). Agrovoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848-855.
- Burney, J., Woerling, L., Burke, M., Taylor, R., & Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudanese—Sahel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5), 1848–1853.
- Climate Maps. (2023). Mapa mundial de precipitación promedio anual. Recuperado: mayo 13 de 2023 de <https://climatedatamaps.org.mng.com/>
- Corbley, A. (2022). La grana más grande para cultivar bajo paneles solares demuestra ser una cosecha excelente para el uso de la tierra agrovoltaica. Apolo Energy. Febrero 24. Recuperado: mayo 13 de 2023 de <https://apoloenergy.com.mx/la-grana-mas-grande-para-cultivar-bajo-paneles-solares-demuestra-ser-una-cosecha-excelente-para-el-uso-de-la-tierra-agrovoltaica/>
- Comisión Nacional del Agua. (2023). Mapa interactivo de acuíferos en México. Recuperado: abril 26 de 2023 de <https://sigains.conagua.gob.mx/dma/acuiferos.html>
- Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308.
- Global Solar Atlas. (2023). Mapa de producción potencial mediante sistemas fotovoltaicos. Recuperado: abril 26 de 2023 de <https://globalsolaratlas.info/map?c=23.773934,-102.887167.5>
- Goetzberger, I., & Castrov, A. (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55-69.
- Pugsley, A., Zacharopoulos, A., Mondol, J. D., & Smyth, M. (2016). Global applicability of solar desalination. *Renewable Energy*, 88, 200–219.
- PWatts. (2023). NREL's PWatts Calculator. Recuperado: mayo 13 de 2023 de <https://pwatts.nrel.gov/>
- Randle-Boggis, R. J., Lara, E., Onyango, J., Temu, E. J., & Hartley, S. E. (2021, June). Agrovoltaics in East Africa: opportunities and challenges. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2361, No. 1, p. 090001). AIP Publishing LLC. Richter, B. (2014). Chasing water: a guide for moving from scarcity to sustainability. Island Press.
- Rodríguez, I. (2022). Sobreexplotados uno de cada cuatro mantos acuíferos en México. El Economista. Viernes 25 de marzo de 2022. Recuperado: abril 26 de 2023 de <https://www.economista.com.mx/politica/Sobreexplotados-uno-de-cada-cuatro-mantos-acuiferos-20220325-0001.html>
- Steduto, P., Hoogeveen, J., Wippeney, J., & Burke, J. (2017). Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome*, Italy.
- Toledo, C., & Scognamiglio, A. (2021). Agrovoltaic systems design and assessment: A critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision (three-dimensional agrovoltaic patterns). *Sustainability*, 13(2), 6871.
- United Nations Environment Programme. International Resource Panel, United Nations Environment Programme. (2016). Options for decoupling economic growth from water use and water pollution.
- Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-20.