

POTENCIAL DE USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SIN BATERIAS EN APLICACIONES PRODUCTIVAS RURALES

L. R. Valer, R. Zilles

Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – Brasil – CEP 05508-010
Fax: +55 11 3816-7828, e-mail: robvaler@usp.br

RESUMEN: Desde hace ya varios años, la disminución de los precios de sistemas fotovoltaicos viabilizó su uso para fines productivos. En el Brasil aún existe una gran cantidad de comunidades rurales cuyas actividades económicas podrían ser mejoradas con el acceso a la energía eléctrica producida por sistemas fotovoltaicos. Las baterías son un elemento importante dentro del sistema pero su uso trae una serie de problemas de mantenimiento, aumento de costos y disminución de la confiabilidad del sistema. Por ese motivo, el presente artículo analiza el potencial de algunas aplicaciones fotovoltaicas que no necesitan el uso de baterías y finalmente hace sugerencias de algunos factores que deben ser tomados en cuenta en la elaboración de estos proyectos.

Palabras- clave: energía solar, riego fotovoltaico, refrigeración fotovoltaica

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios alrededor del mundo (Allderdice y Rogers, 2000; Weingart y Giovannucci, 2003; Meadows et al., 2003; Cabraal et al., 2005) sugieren que el uso de una fuente confiable y accesible de energía moderna (como la electricidad) es una condición necesaria, pero no auto-suficiente para el desarrollo económico del ser humano.

En el mundo casi 86% de la población mundial en zonas rurales depende de las actividades agropecuarias como fuente de ingresos económicos (Banco Mundial, 2007). La productividad de muchas de estas actividades depende del uso de equipos eléctricos para la producción y el almacenamiento. Lamentablemente, el acceso a la electricidad es limitado y desigual para muchas personas en el mundo. Esto ocurre principalmente en muchas zonas rurales que por sus características (baja densidad poblacional, demanda energética pequeña y limitaciones técnicas para el abastecimiento con redes) no pueden ser electrificadas de manera convencional.

La generación de electricidad con sistemas fotovoltaicos tiene características que han permitido su uso en decenas de programas de electrificación rural alrededor del mundo. Actualmente, la disminución de precios de los sistemas fotovoltaicos como consecuencia del continuo desarrollo tecnológico y del aumento de la demanda a nivel mundial, ha permitido aumentar la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos de potencias cada vez mayores y por lo tanto su uso en aplicaciones productivas. Una lista de aplicaciones productivas posibles con sistemas fotovoltaicos y sus respectivos rangos de consumo puede ser vista en la tabla 1.

Aplicación agrícola	Rango típico de potencia (kWp)
Riego	1-3
Agua para abrevaderos	0,5 -1
Cercado eléctrico	0,02 -0,1
Electrificación de granjas (iluminación, seguridad)	0,05 - 0,5
Secado forzado	0,1 – 1
Iluminación de corrales, granjas y chacras	0,2 – 3
Bombeo de agua para piscigranjas	0,5 – 3
Aeración – acuaculturas	0,2 – 1
Trampas de luz para insectos	0,01-0,02 por lámpara
Refrigeración de vacunas para ganado	0,05-0,1
Refrigeración de productos agrícolas	0,5 - 10+
Maquinas de hielo	2 – 10
Telecomunicación	0,2 - 0,3

Tabla 1. Aplicaciones productivas de SFV en la agricultura (Weingart y Giovannucci, 2003).

Una de las grandes limitaciones de los sistemas fotovoltaicos es la necesidad de almacenamiento con acumuladores electroquímicos (baterías). El almacenamiento con baterías es común en la electrificación domiciliar porque permite el uso del sistema fuera del “horario solar” brindando autonomía y confiabilidad al sistema. A pesar de la importancia de esta característica, el uso de baterías aumenta los costos totales del sistema, presenta una serie de problemas técnicos (deterioro en zonas calientes, mal uso por parte de los usuarios, disminución de la eficiencia del sistema, etc.) y cuando son instaladas en localidades remotas, su sustitución frecuente y descarte genera problemas importantes de logística.

Por esos motivos es importante analizar si es posible reducir el uso de estas baterías a través de otros medio de almacenamiento. En el presente artículo son revisadas dos estrategias: el acumulamiento de agua en depósitos de agua para uso en riego o consumo animal y la acumulación de energía en forma de calor latente mediante la producción de hielo para uso en refrigeración de alimentos. En base a estas estrategias es analizado su potencial uso en actividades productivas en zonas rurales brasileñas.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEO PARA RIEGO Y CONSUMO ANIMAL

El uso de sistemas fotovoltaicos de bombeo ha alcanzado con el paso de los años la madurez suficiente para ser considerada una tecnología confiable para el suministro de agua en zonas rurales. Hasta el año 2002 fueron instalados solo en el Brasil cerca de 3255 sistemas fotovoltaicos de bombeo, totalizando una potencia de 1,5 MWp (Fedrizzi, 2003).

A pesar de existir una gran variedad de componentes y configuraciones, el sistema fotovoltaico de bombeo se compone de un generador fotovoltaico, un mecanismo de acondicionamiento de potencia (convertor CC - CC, booster o inversor CC - CA), grupo motobomba (CA o CC) y el depósito de agua (Figura 1).

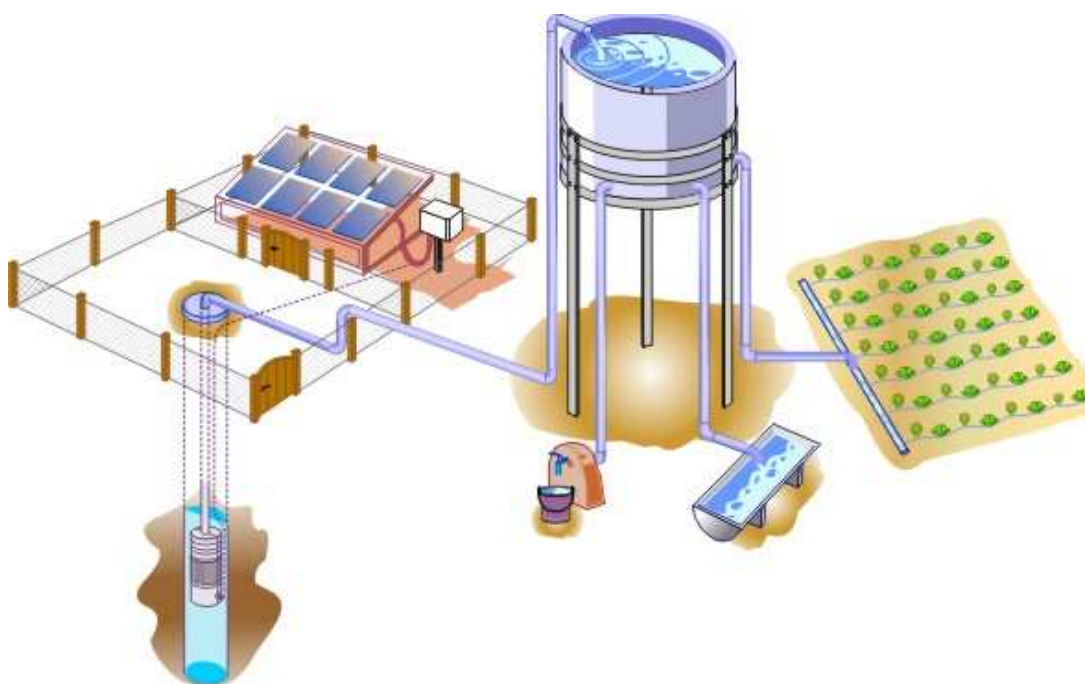


Figura 1. Configuración básica de un sistema fotovoltaico de bombeo para consumo humano, animal y riego.

Una de las razones de su competitividad es que no es necesario el uso de baterías. El depósito de agua es, en este caso, el medio para almacenar energía. El agua es bombeada durante el horario solar y puede ser almacenada para su uso en cualquier momento del día. El volumen de agua a ser almacenado depende de la aplicación y las condiciones climáticas del lugar.

La falta de agua en cantidades suficientes y en momentos específicos para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos no solo reduce la productividad de los huertos sino también limita la producción agrícola a cultivos de poca duración que generalmente tienen un costo menor en el mercado. Para solucionar este problema, han sido instalados varios sistemas fotovoltaicos de irrigación en el mundo. Sólo en el Brasil fueron instalados cerca de 32 sistemas, la mayoría de ellos de carácter piloto (Valer et al, 2010).

La Figura 2 muestra esquemáticamente las configuraciones posibles de sistemas fotovoltaicos de riego (las líneas azules muestran las configuraciones más utilizadas). El generador fotovoltaico es instalado generalmente sobre una estructura fija, pero es posible usar estructuras móviles o con concentración. Para pequeñas potencias se destaca el uso de motobombas CC conectadas directamente o a través de un convertor CC-CC al generador y para potencias mayores es más común el uso de motores de corriente alterna con bombas centrífugas. Alternativamente Brito (2006) propone el uso de convertidores de frecuencia con motobombas trifásicas no exclusivas para aplicaciones fotovoltaicas. Como sistema de almacenamiento se usa comúnmente un depósito elevado a una altura que permita abastecer agua con la presión suficiente para su uso con sistemas presurizados. Con respecto a su uso final, por sus características de uso eficiente del agua y energía, el riego localizado es el método utilizado en conjunto con el bombeo fotovoltaico (Valer et al., 2010).

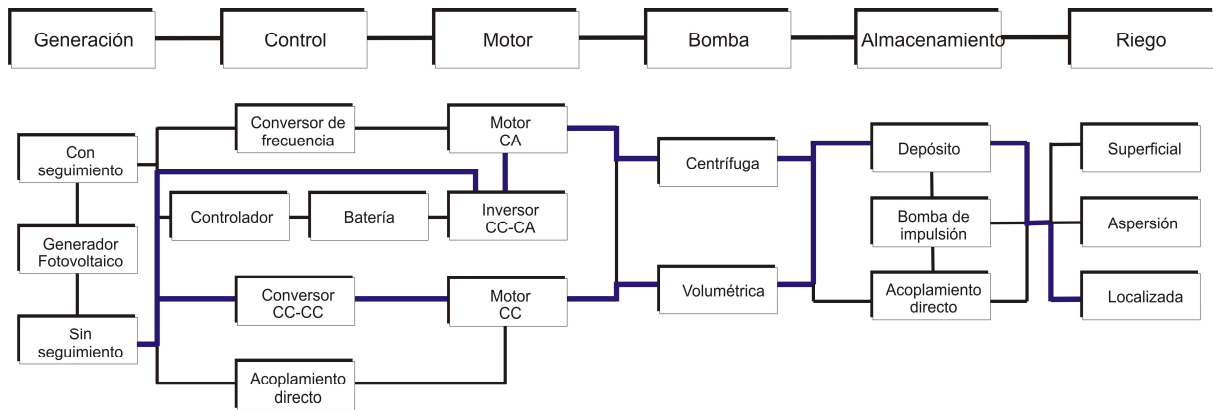


Figura 2. Configuraciones de sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua para riego (Valer et al., 2010).

Los sistemas fotovoltaicos de riego en zonas remotas de clima árido son viables económicamente frente a otras opciones de generación local cuando son utilizados en campos pequeños destinados para la producción de cultivos con buen valor en el mercado.

Por su parte, los sistemas fotovoltaicos de bombeo también pueden proveer agua para abrevaderos de animales. Un levantamiento de datos realizado por Van Campen et al. (2000) muestra que los principales beneficios del uso de esta tecnología son: una mayor producción ganadera (tanto de leche como de carne), y una mejor gestión de los recursos ganaderos evitando la contaminación de las fuentes de agua y la transmisión de enfermedades al ganado.

En este caso, el depósito también puede ser usado como abrevadero reduciendo los gastos de ingeniería para elevación del mismo. El uso de abrevaderos en zonas rurales de México y Estados Unidos ha tenido buenos resultados como lo demuestra el trabajo de Meah et al. (2008).

Otra aplicación interesante es la producción de forraje para ganado, la cual puede ser complementaria al abastecimiento de agua para los animales.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA PRODUCCION DE HIELO

Refrigeradores fotovoltaicos para uso con baterías han sido desarrollados desde hace años como una estrategia para la conservación de alimentos y medicinas. Sistemas de refrigeración fotovoltaicos sin baterías son más recientes y tienen como estrategias principales la utilización de un material de cambio de fase incorporado dentro de un gabinete adecuadamente aislado y el desarrollo de un sistema de control que permita la conexión directa del generador fotovoltaico a un compresor de frecuencia variable para la búsqueda del punto de máxima potencia (Foster et al., 2009). Algunos refrigeradores sin baterías ya están siendo comercializados en el mundo (Sundancer, 2011 y Solarchill, 2011).

Diversas estrategias han sido creadas a partir de estas ideas. Ewert et al. (2002) desarrollaron un refrigerador que usa un material de cambio de fase con alto calor latente de fusión dentro de un gabinete de 105 l de capacidad y autonomía de hasta 7 días. El sistema utiliza también un compresor variable de CC, un microprocesador que regula la velocidad del compresor y aproximadamente entre 80 a 180 W de generador fotovoltaico dependiendo del lugar. Axaopoulos y Theodoridis (2009) desarrollaron una máquina de hielo que utiliza cuatro pequeños compresores de potencia diferentes, con el fin de permitir el funcionamiento de la máquina con irradiaciones bajas ($\sim 150 \text{ W/m}^2$) y disminuir la potencia de partida, ya que los compresores pequeños tienen menor fricción. De Blas et al. (2003) desarrolló un sistema de refrigeración de leche el cual consiste en dos depósitos, siendo el externo llenado con agua que es congelada durante el día para poder refrigerar el depósito interno.

En el laboratorio de sistemas fotovoltaicos del IEE – USP se estudió la posibilidad de adaptar una máquina productora de hielo comercialmente disponible en el mercado para su uso en conjunto con un generador fotovoltaico. La velocidad del motor es controlada por el convertor de frecuencia con el fin de mantener la tensión del generador a un valor fijo que optimice la generación (alrededor de 312V). Esta estrategia conduce a la pérdida de menos del 2% en comparación a un seguimiento continuo desde el punto de máxima potencia. (Driemeier y Zilles, 2010)

El esquema de la máquina de hielo se ve en la figura 3:

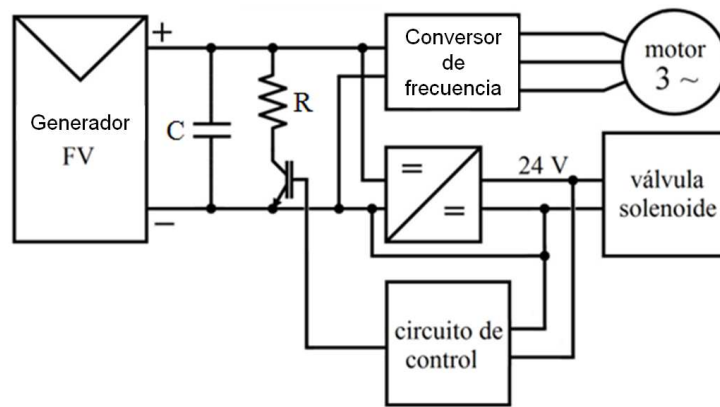


Figura 3. Diagrama esquemático de la máquina de hielo (Driemeier y Zilles, 2010).

La máquina consiste de un generador fotovoltaico de 1040 Wp, un banco de capacitores (cuya función es disminuir la caída de tensión), banco de resistores (para disipar la energía cuando está no es suficiente para activar la máquina), convertidor de frecuencia (WEG CFW- plus, 220 V, 1,5 HP), fuente de 24 V, válvula solenoide (Dandos EVR3), válvula de expansión termostática, un motor de inducción trifásica de 1 HP, y un gabinete térmicamente aislado con capacidad de 90 kg (figura 4). Esta configuración puede ser adaptada a otros equipos de producción de hielo siempre y cuando el motor del compresor permita la posibilidad de variar su frecuencia de rotación (compresores de tipo abierto).

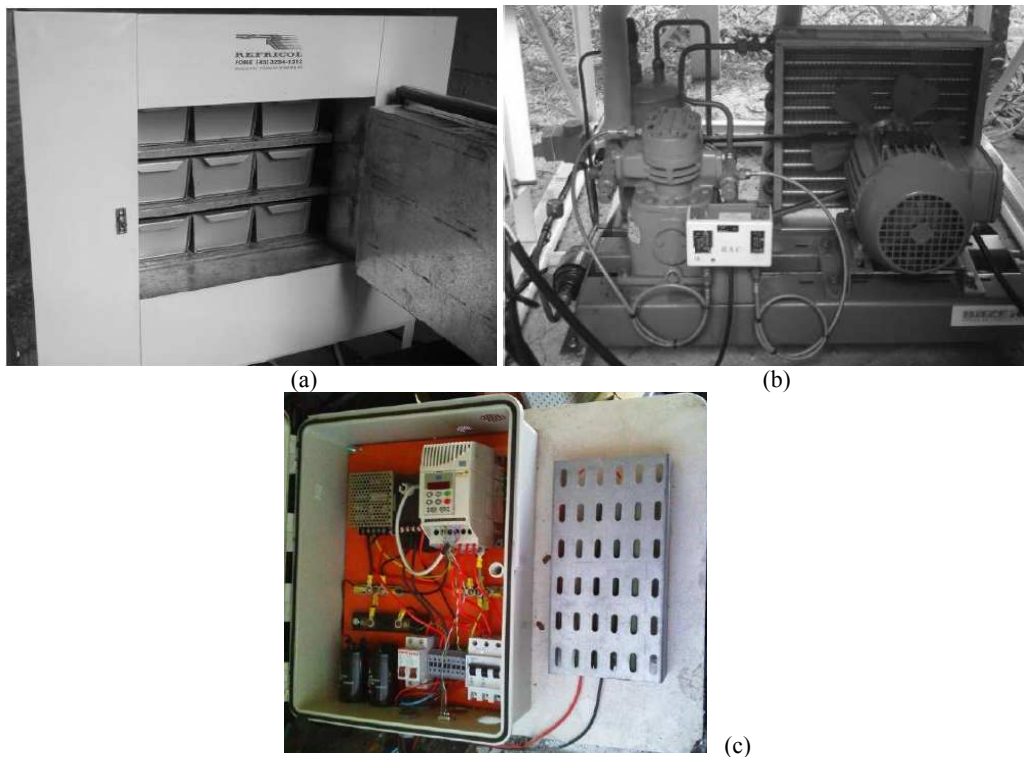


Figura 4. Máquina de hielo: (a) gabinete, (b) motor, compresor y otras componentes del circuito térmico (c) cuadro eléctrico con circuito de control, banco de resistores y banco de capacitores (Driemeier y Zilles, 2010).

Las aplicaciones posibles para las máquinas de hielo o de los refrigeradores fotovoltaicos sin baterías son la conservación de leche, carne, pescado y otros productos agrícolas perecibles. Dependiendo de la aplicación, las características del sistema pueden variar. En el caso de vacunas es recomendable que el refrigerador mantenga una temperatura entre 0 y 8 °C según lo estipulado por la Organización Mundial de Salud. En el caso de la leche de vaca o cabra, esta debe ser refrigerada hasta 4°C en un plazo máximo de 2 horas después de la ordeña según lo estipulado por el Ministerio de Agricultura Brasileño. En el caso de carnes, estas pueden ser refrigeradas (-1,5 y 7°C) o congeladas (< -12°C) dependiendo de los días que sea necesario su conservación. Refrigerar el asai, fruto amazónico usado para la preparación de bebidas, dulces, y helados, a temperaturas menores de 15°C reduce considerablemente la proliferación de bacterias y la descomposición del fruto (Pompeu et al., 2009). Estos datos son importantes al momento de escoger un equipo y estimar la cantidad de hielo necesario a ser producido.

La leche una vez ordeñada necesita ser refrigerada para evitar la proliferación de agentes bacteriológicos. Si esto no ocurre, la leche se vuelve inapta para el consumo humano. Este proceso puede ser realizado de varias maneras: “artesanalmente” introduciendo un cono metálico lleno de hielo en los latones de colecta o sumergiendo los latones en tanque de inmersión con

agua helada, o en forma más sofisticada con los tanques de expansión o los tanques con banco de hielo. Los tanques de refrigeración de leche con banco de hielo consisten en un sistema de resfriamiento indirecto en donde el evaporador intercambia calor en un tanque independiente en donde se produce el hielo. La ventaja de los bancos de hielo es que permiten producir hielo en los momentos en que la tarifa es más baja o hay posibilidad de producir energía, mientras que el proceso de resfriamiento puede ser realizado en cualquier hora. Por otro lado, el consumo eléctrico de estos sistemas es mayor que el de un tanque de expansión. Si bien en el Brasil, el sistema más utilizado es el de tanques de expansión, es posible encontrar algunos modelos importados con la opción de banco de hielo.

Sin refrigeración, el pescado puede descomponer en climas tropicales dentro de 12h por lo que son generalmente cubiertos con hielo para inhibir el desarrollo de microorganismos. El hielo debe ser cambiado al derretirse por lo que es necesario tener una reserva del mismo durante el viaje.

La refrigeración de carne, además de evitar su descomposición, también permite que sea más blanda. Para esto es necesario generalmente de refrigeradores o congeladores de grandes volúmenes que permitan la conservación de la carne hasta la llegada de los camiones frigoríficos.

Otras aplicaciones posibles son: la refrigeración de la pulpa de asaí y la refrigeración de gaseosas, cervezas y agua embotellada para ventas en pequeñas posadas en zonas rurales.

FACTORES QUE POSIBILITAN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PRODUCTIVOS SIN USO DE BATERÍAS

Recurso solar y existencia de datos confiables sobre el recurso.

En Brasil existen tres publicaciones (por ejemplo: Pereira et al., 2006) que muestran el potencial de recurso solar en el Brasil. La existencia de datos confiables y disponibles de energía solar permite estimar con mayor precisión la producción eléctrica de los sistemas fotovoltaicos. La irradiancia global diaria media anual de Brasil es de 5,6 kWh/m². La región semiárida brasileña cuenta con una media de 5,9 kWh/m² y la región amazónica con una media de 5,5 kWh/m² (Pereira et al., 2006).

Diversificación de la oferta local y disminución de los precios de las componentes.

El precio de los módulos fotovoltaicos tiende a disminuir como consecuencia del desarrollo tecnológico y el aumento de la producción mundial. En Brasil, el costo de los módulos en mayo del 2011 estuvo cerca de US\$ 3 a 5 y hay ya dos emprendimientos para producir módulos en Brasil.

Existe también un fabricante de motobombas para sistemas fotovoltaicos de pequeño porte en Brasil. Con la configuración propuesta por Brito (2006), otros modelos de motobombas de origen nacional y no diseñadas para uso con SFV podrían ser adaptadas al generador fotovoltaico. El convertidor de frecuencia usado tanto para el bombeo como para controlar el compresor de la máquina de hielo es también de fabricación nacional.

Por otro, lado equipos importantes en ambas aplicaciones como: depósitos de agua, sistemas de riego localizado, tanques de expansión para leche y gabinetes para la producción de hielo, también pueden ser encontrados en el mercado local sin mayores problemas.

Existencia de áreas rurales sin posibilidad de electrificación inmediata con red eléctrica y dependientes de actividades agropecuarias para su subsistencia.

La diversidad geográfica de Brasil y otros factores técnicos y económicos no permiten una electrificación al 100% con redes eléctricas. Ese panorama abre un campo para la aplicación de fuentes de generación local como la fotovoltaica.

El uso potencial de sistemas fotovoltaicos para riego se encuentra en la región semiárida de Brasil que cuenta con una pluviometría menor a 800 mm por año y abarca una superficie de cerca de 970 mil km². Una gran parte de la región Nordeste brasileña se encuentra dentro de estas condiciones y es en ella en donde actualmente existen más de dos mil pequeños establecimientos agrícolas, muchos de los cuales no tienen acceso a la red eléctrica y podrían ser beneficiados con el acceso a este tipo de tecnología, principalmente en las épocas de sequías en donde la necesidad de usar agua de fuentes subterráneas es mayor.

Es en esta región donde se concentra también un gran número de productores de leche, carne y cuero de cabra o vaca, producción que podría aumentar garantizando un stock de agua, alimentos y medios para refrigerar la leche y la carne. Es importante destacar que debido a las nuevas exigencias del mercado lechero, los productores no puedan refrigerar la leche desaparecerán en mediano plazo (Jank,y Galan, 1998).

La región amazónica brasileña se extiende por unos 5,1 millones de kilómetros cuadrados (cerca de 60% del territorio del país). Debido a su clima húmedo y caliente, la región amazónica depende mucho de técnicas de preservación de alimentos. Recursos obtenidos de actividades extractivas como la pesca y la recolección de asaí podrían verse beneficiados con el uso de sistemas de refrigeración.

La región amazónica también tiene un gran potencial como destino eco-turístico que aún no es explotado significativamente debido, entre otras cosas, a una falta de infraestructura necesaria para albergar a los turistas. Una de las medidas necesarias es

brindar bebidas heladas (gaseosas, cervezas y agua embotellada) y productos alimenticios debidamente conservados y refrigerados.

SUGERENCIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PRODUCTIVOS SIN USO DE BATERÍAS

En base a la experiencia del equipo y el estudio de algunos casos de aplicación de este tipo de proyectos, se sugiere la adopción de los siguientes elementos para potencializar los beneficios de los sistemas fotovoltaicos productivos.

Fortalecimiento de las asociaciones de productores.

La oferta de pescado, carne o leche debe ser lo suficientemente grande para poder cubrir los costos de refrigeración o de congelamiento. Esto es difícilmente alcanzado con la producción de solo un productor rural. Por eso, la asociación puede reducir costos comunes y permitir alcanzar la escala necesaria para viabilizar la instalación de un sistema de refrigeración.

Con asociaciones de productores fortalecidas también es posible realizar contratos anticipados de abastecimiento y acceder a líneas de crédito especiales. Otra ventaja de la asociación de productores es que permite negociar mejor los precios de ventas de los productos y los precios de compra de los insumos. Por ejemplo, puede utilizarse ese poder de negociación para comprar fertilizantes y semillas al por mayor.

Solución de los problemas inherentes a las cadenas productivas

Como ya fue mencionado, no es suficiente con ofrecer electricidad de manera confiable para solucionar todos los problemas de la producción rural.

Para adecuar el producto a los estándares requeridos por el mercado, tanto en calidad como en cantidad, deben resolverse cualquier problema importante que afecten los procesos de producción, almacenamiento y transporte hasta los mercados adecuados. Con ese fin debe estudiarse la cadena productiva completa y no solo algunos eslabones.

También es recomendable el uso de equipos multidisciplinarios para la elaboración del proyecto y la resolución de los problemas encontrados.

Trabajo en conjunto con los usuarios potenciales

Cualquier tecnología tiene barreras inherentes cuando es introducida en una comunidad debido a los miedos, creencias e intereses de los beneficiarios. Por eso, la opinión de los productores debe ser tomada en cuenta para la búsqueda de soluciones realista a los problemas de producción.

El uso de metodologías participativas puede ayudar a eliminar esas barreras, mientras que la presencia frecuente de monitores podría permitir fortalecer los lazos entre los beneficiarios y el equipo del proyecto.

Uso de equipos robustos y mantenimiento constante de los equipos

La tecnología fotovoltaica ha demostrado con el paso de los años su eficacia para electrificar comunidades rurales. Sin embargo, también existe información que muestra existencia de problemas como consecuencia de una selección de equipos inadecuada para las condiciones de trabajo locales ó por la falta de mantenimiento de los mismos.

El uso de equipos de buena calidad técnica disminuye el riesgo de fallas y paralizaciones del sistema. Por eso es importante, evaluar su calidad y desempeño en el laboratorio antes de su instalación.

Por otro lado, es necesario crear las bases para el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos con el fin de evitar su deterioro antes de tiempo. Para esto, es necesario capacitar a los usuarios y técnicos para que puedan comprender la importancia del mantenimiento e incentivar ellos a realizar estas tareas de forma adecuada.

Disponibilidad de líneas de crédito adecuadas para los productores

Los altos costos de inversión inicial de estos sistemas fotovoltaicos productivos podrían no ser un problema para el agricultor si este contase con un sistema de crédito adecuado a sus posibilidades de pago. Un esquema de financiamiento ideal debe permitir no sólo la adquisición de componentes para el sistema fotovoltaico, sino también la compra de materias primas (semillas de buena calidad, fertilizantes, animales de razas mejoradas para la producción de carne o leche, etc.), maquinas (sembradoras, fumigadoras, ordeñadoras, etc.) y otros activos.

CONCLUSIONES

Proyectos con sistemas fotovoltaicos para uso productivo han sido implementados en varias partes del mundo. La posibilidad de no usar baterías en algunas aplicaciones disminuye los problemas inherentes al uso de estas y permite abaratar costos a largo plazo.

Sistemas fotovoltaicos para uso en irrigación son ya una tecnología desarrollada y con amplio potencial de uso en zonas rurales con problemas de abastecimiento de agua. Sus limitaciones radican más en el aspecto económico siendo viables principalmente para campos de cultivo pequeños en regiones con escasez de agua. El uso de sistemas de bombeo para consumo animal tiene también un alto potencial de aplicación en el semiárido brasileño.

Por otro lado, aunque en un nivel menor de desarrollo, refrigeradores sin baterías están siendo construidos en el mundo. La configuración propuesta por Driemeier y Zilles (2010) abre un campo para la producción de hielo en zonas rurales que permitirán el congelamiento de productos como pescado o la pulpa de asai. Y aunque esta configuración puede ser adaptada a otros tipos de máquinas refrigeradoras como las usadas en la refrigeración de leche y carnes, falta realizar un estudio de que equipos comerciales podrían ser adaptados para su uso con sistemas fotovoltaicos.

El buen recurso solar, la existencia de datos confiables sobre el recurso, la diversificación de la oferta local de las componentes y su disminución de los precios así como la existencia de áreas rurales dependientes de actividades agropecuarias pero sin posibilidad de electrificación inmediata son factores que favorecen la implementación de ambas tecnologías. Sin embargo, aún existen varias barreras de carácter técnico, económico, institucionales, de información y regulatorias a ser vencidas.

Finalmente, los autores creemos que el fortalecimiento de las cooperativas o asociaciones de productores, la solución de los problemas inherentes a las cadenas productivas, el trabajo en conjunto con los usuarios potenciales, el uso de equipos robustos y mantenimiento constante de los equipos y la disponibilidad de líneas de crédito adecuadas para los productores son factores que contribuyen a maximizar los beneficios de las tecnologías mencionadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabajo contó con el apoyo del “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” – CNPq y del “Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia”.

REFERENCIAS

- Allderdice A. y Rogers J.H. (2000). Renewable Energy for Microenterprise. National Renewable Energy Laboratory
- Axaopoulos P. J. y Theodoridis, M. P. (2009). Design and experimental performance of a PV Ice-maker without battery. *Solar Energy* 83, 1360–1369.
- Banco Mundial. (2007). World Development Report 2008: Agriculture for Development. Banco Mundial. 3-4. Washington DC.
- Brito A. U. (2006). Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas. Tesis de Doctorado - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Cabraal R. A. et al. (2005). Productive uses of energy for rural development. *Annual review of environmental and resources* 30, 117-144.
- De Blas M. et al. (2003). A Refrigeration Facility for Milk Cooling Powered by Photovoltaic Solar Energy. *Progress in Photovoltaics* 11, 467–479.
- Driemeier C. y Zilles R. (2010). An ice machine adapted into an autonomous photovoltaic system without batteries using a variable-speed drive. *Progress in Photovoltaics* 18, 299-305.
- Ewert et al. (2002). Photovoltaic Direct-Drive, Battery-Free Solar Refrigerator Field Test Results. Texas.
- Fedrizzi, M. C. (2003). Sistemas Fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: Lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. Tesis de Doctorado - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Foster R et al. (2009). Solar energy: Renewable Energy and the Environment. CRC Press.
- Jank M y Galan V. (1998). Competitividade do sistema agroindustrial do leite. Competitividade no agríbussines brasileiro. USP/PENSA. Brasília.
- Meadows K. et al. (2003). Modern Energy: Impacts on Microenterprises - A report produced for UK Department for International Development.
- Meah K. et al. (2008) Solar photovoltaic water pumping for remote. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 2, 472-487.
- Pereira et al (2006). Atlas Brasileiro de energia solar. Instituto Nacional de Pesquisas espaciais.
- Pompeu D. et al. (2009). Impacto da refrigeração sobre variáveis de qualidade dos frutos do Açaizeiro. *Alimentos e Nutrição. Brazilian Journal of Food and Nutrition* 20, 1, 141-148.
- SunDanzer (2011). SunDanzer Direct-drive solar refrigerator. Catalogo obtenido en la página web. Consulta en 22/07/2011. Disponible en: <http://sundanzer.com/documents/DDR165brochure.pdf>
- Solarchill (2011). Solarchill. Catalogo obtenido en la página web. Consulta en 22/07/2011. Disponible en: http://www.solarchill.org/images/web_brochure_2.pdf
- Valer L. R. et al. (2010). Sistemas fotovoltaicos de bombeamento para uso na agricultura. 8 Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural AGRENER 2010.
- Van Campen B. et al. (2000). Solar Voltaics for Sustainable Agriculture and Rural Development. Food and Agriculture Organization – FAO. Roma.
- Weingart J y Giovannucci D. (2003). Rural (Renewable) Energy: A Practical Primer for Productive Applications. A Guide to Developing Agricultural Markets and Agro-enterprises

ABSTRACT

For several years, the decline in prices of photovoltaic systems enable their use for productive purposes. In Brazil there are a lot of rural communities whose economic activities could be improved with access to electricity produced by photovoltaic systems. Batteries are an important element within the system but its use brings a series of maintenance problems, increased costs and decreased reliability. For that reason, this article analyzes the potential of the productive use of some applications that do not require batteries and finally makes suggestions for some factors to be considered in developing these projects.

Keywords: solar energy, photovoltaic refrigeration, photovoltaic irrigation.