

# RIEGO SOLAR-EÓLICO POR GOTEO DE BAJO COSTO PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES

Carolina M. Barreto Cajina– [barretocajina@hotmail.com](mailto:barretocajina@hotmail.com)

John J. Duffy –[John\\_Duffy@uml.edu](mailto:John_Duffy@uml.edu)

Universidad de Massachusetts Lowell. Programa de Ingeniería Solar

## **Resumen.**

*El objetivo de este proyecto es de proveer a pequeños agricultores en países en vías de desarrollo con un método de riego de bajo costo que promueva el uso sostenible de agua y energía. Para poder mantener el mundo en el futuro el 60% de los alimentos extra tienen que provenir de la agricultura irrigada y los países en vías de desarrollo tienen el 75% del área de riego del mundo (FAO, 1999), en donde los pequeños agricultores cultivan la mitad de esta área y un 80% carece de acceso a servicios eléctricos (World Bank, 2000). La seguridad alimenticia del mundo depende de mejorar las técnicas de riego de los pequeños agricultores en países en vías de desarrollo. Las prácticas comunes de riego son inundación con agua temporal de lluvias y sistemas de riego por gravedad con bombas de motores diesel o gasolina. Las bombas solares son limpias, eficientes, y de bajo mantenimiento. El riego por goteo es un 40% más eficiente que inundación y hace un mejor uso del bombeo fotovoltaico y eólico porque es un sistema de baja presión y auto-compensación (Burt & Styles, 1999). Dependiendo del ciclo del cultivo, el riego por goteo podría proveer hasta tres cosechas al año en vez de una en la época de lluvia, generando suficientes ingresos para pagar por el sistema. Éste trabajo es sustentado como parte de un programa de diez años con pequeños agricultores peruanos en Ancash, Perú.*

**Palabras-clave:** Riego Solar, Riego Solar-Eólico, Energía Solar, Bombeo Solar

## **1. INTRODUCCIÓN**

Existe un buen enlace entre el riego y la tecnología fotovoltaica dado que ambos el riego como consume y el FV como generación dependen directamente de la radiación solar (Fig.2). Esto significa que cuando llueve o está nublado, el riego no es necesario porque hay una menor evapotranspiración debido a la disminución de la radiación. El riego solar representa un gran potencial para los usos productivos de la energía fotovoltaica dado que el área de riego puede generar suficientes ingresos para pagar por el sistema. Dependiendo del ciclo del cultivo, el riego por goteo podría permitir hasta tres cosechas pro año en vez de una sola durante la época de lluvia. Una de las características más importantes de la energía solar fotovoltaica y el riego por goteo es su modularidad, lo que quiere decir que se pueden aumentar el número de paneles y de cintas de riego tal como se necesiten. A medida que hallan más ganancias los pequeños agricultores tendrán la oportunidad de alcanzar mejores niveles de energía y área irrigada. Un gran número de fabricantes hacen bombas de corriente alterna y directa muy eficientes que pueden ser utilizadas con paneles fotovoltaicos, sin embargo en general estas bombas son muy costosas y relativamente grandes requiriendo costosos arreglos fotovoltaicos. Este estudio propone el uso de bombas de diafragma de bajo costo haciendo el sistema costeable para pequeños agricultores en países en vías de desarrollo (Fig. 3). Empresas fabricantes de bombas de diafragma y ONGs en países en vías de desarrollo han promovido el uso de bombas de diafragma tanto para agua potable para pequeñas comunidades como para riego. Sin embargo, la durabilidad de estos sistemas no ha sido consistente y esto ha resultado en el fallo de estos sistemas, a veces en menos de un año. En mucho de los casos las fallas han sido entre otras: deterioro prematuro del diafragma, sobrecarga térmica, sobrecarga de presión (falla del interruptor de presión), y falta de transferencia tecnológica a los campesinos. Estas observaciones son basadas en visitas personales por el primer autor en instalaciones en 4 países (Perú, Nicaragua, Mali y Haití). El uso de una serie de controles de bajo costo mitigan las fallas descritas anteriormente. Como resultado, dos prototipos con nuevos controles han sido instalados en Ancash, Perú en Enero del 2008 y Enero del

2010. Los cálculos para el diseño del sistema fueron realizados utilizando datos de radiación solar que el programa de VillageEmpowerment de la Universidad of Massachusetts Lowell ha obtenido en los últimos 6 años.



Fig. 1: Beneficiarios del sistema

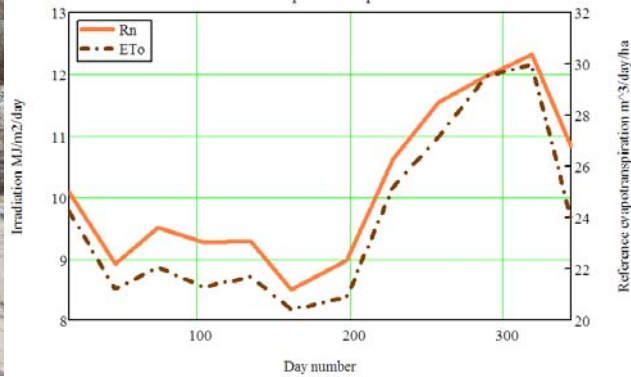


Fig. 2: Relación entre los requerimientos de agua del cultivo de referencia (ETo en m<sup>3</sup>/day/ha) y la radiación solar (Rn en MJ/m<sup>2</sup>/day).

## 2. COMPONENTES DEL SISTEMA

### 2.1 Riego Solar Fotovoltaico

El sistema de riego solar consiste en una bomba de 12 voltios de corriente directa marca Shurflo, modelo Pro-baitmaster 4901-6202 conectada a un arreglo fotovoltaico de 250 vatios (Figs. 1 y 2). Un temporizador fue agregado al sistema para aliviar el deterioro de los diafragmas, sobrecarga térmica y asegurar el trabajo “continuo” de la bomba. (Fig.3). El temporizador fue programado para que la bomba trabaje un promedio de 14 ciclos de 20 minutos de duración cada uno por día para garantizar los requerimientos de agua de 15,000m<sup>2</sup> de área y 3.35 m<sup>3</sup> de almacenamiento de agua durante los requerimientos pico de la cosecha, en nuestro caso de espárrago.



Fig. 3: Bomba de diafragma dentro del pozo (sin sumergir)



Fig. 1: Temporizador (izquierda), Controlador de carga (derecha) y caja de breaker (centro)

Durante el periodo pico de demanda de agua se requieren de hasta 17 ciclos del temporizador, lo que requiere bombeo nocturno, por lo que una batería de 140 amperios-horas fue necesaria dado a la restricción de bombeo de 20 minutos por ciclo. Un interruptor de presión externo fue instalado en el sistema adicionalmente al que la bomba trae del fabricante. En previas experiencias con este modelo de bomba, el grupo de VillageEmpowerment ha encontrado que el interruptor construido en la bomba ha fallado seguidamente en nuestras instalaciones y las bombas llegaron a altas presiones, más altas que el límite que el fabricante recomienda. Como consecuencia los motores duraban

solamente por unos meses. Por esta razón un presostato externo fue conectado a la bomba. La presión de encendido de la bomba es de 21 PSI y el apagado fue fijado a 40 PSI, 5 PSI menor que la capacidad de presión máxima de la bomba según el fabricante.



Fig. 2: Presostato o interruptor de presión (caja gris al centro) y tanque de expansión abajo a la derecha (tapón azul)



Fig. 3: Instalación de las cintas de goteo.

Un tanque de presión fue instalado en el sistema como componente de control para evitar el arranque temprano del motor cuando la bolla ubicada en el tanque empieza a bajar debido al vaciado del mismo. Fue observado en sistemas instalados previamente que la bomba enciende cuando el tanque se ha vaciado solamente unos pocos litros encendiendo la bomba prematuramente sin que exista una demanda real de agua. Este encendido y apagado constante disminuye la vida del motor. El tanque de presión fue fijado a 18 PSI de presión inicial de aire. La cinta de goteo que se encontró en el mercado local Peruano fue Ro-Drip de John Deere con un caudal de 1 litro por hora por emisor y la distancia entre emisores de 0.3m. Uno de los componentes esenciales para el diseño de sistemas de riego con energía solar y eólica es la selección del cultivo debido al alto costo de la inversión inicial. El cultivo seleccionado para este estudio fue el espárrago por su alto valor en el mercado y su establecida cadena de suministros en el departamento de Ancash, lo que asegura el pago del sistema. Cultivos con bajos coeficientes de necesidad hídrica o  $K_c$ , son ideales para aumentar la producción por unidad de área con sistemas de bombeo solar y eólico. El espárrago es un cultivo que va de acorde con la tecnología solar-eólica por su alto valor de punto de marchitez permanente. Es un cultivo perenne por lo que comparado a los cultivos no-perennes no requerirá de excesivos gastos agrícolas de cada cosecha como semillas, vivero, trasplante, arado, etc. Todas estas son características que se quieren tener de un cultivo para sistemas de bombeo solar-eólico para crear un ambiente favorable para que los campesinos puedan pagar la inversión del sistema en un plazo menor, comparado a otros cultivos. Este trabajo continúa siendo monitoreado y sostenido como parte de un programa de más de 10 años con comunidades agrícolas indígenas de Perú en departamento de Ancash.

### 3. METODOLOGÍA

El diseño del sistema fue realizado tomando en cuenta la máxima demanda de agua del cultivo, usualmente la etapa de cosecha. Los cultivos resistentes a la sequía o de bajo demanda de agua permiten el uso de pequeñas bombas de diafragma de bajo caudal, alcanzando así una mayor producción por gota de agua por watt solar instalado. La metodología utilizada para el sistema con bomba de diafragma es resumido en la Fig. 8. Para un cálculo inicial, el método de sistemas autónomo (menor radiación solar en un día típico) es utilizada para calcular el arreglo fotovoltaico con una carga promedio dictada por los ciclos del reloj temporizador el cual establece el encendido y apagado de la bomba. La radiación neta promedio expresada en Mega-Joules por metro cuadrado por día ( $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$ ) es requerida. Esta es derivada de la radiación promedio medida con un piranómetro. Tres años de radiación solar global horaria promedio en una superficie horizontal (recolectada con un piranómetro Apogee Pyr-R y almacenada con un data logger Campbell Scientific CR10) fue analizada con la siguiente ecuación estándar

$$R_n = B_c + \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) D_h + \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) H_h$$

Donde  $R_n$  es la radiación promedio mensual,  $B_c$  es la radiación directa en una superficie inclinada,  $\beta$  es el ángulo de inclinación,  $D_h$  es el componente de radiación difusa,  $\rho_g$  es el (pasto verde) reflejo del suelo y  $H_h$  es el promedio mensual de radiación global horizontal.

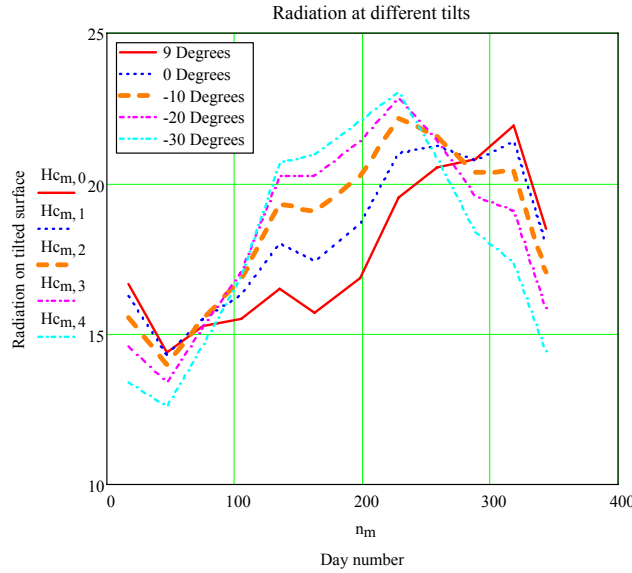


Fig. 4: Radiación promedio mensual con diferentes inclinaciones.

Diferentes inclinaciones fueron utilizadas para encontrar la inclinación óptima del arreglo fotovoltaico instalado. La ángulo de inclinación más óptimo de acuerdo con la radiación promedio solar para el arreglo fotovoltaico fue del 10 grados hacia el ecuador, es decir el norte. La radiación promedio mensual con inclinación de cero grados fue utilizada para los cálculos de la evapotranspiración del cultivo de referencia y el cultivo de referencia ajustado.

El sistema de bombeo fotovoltaico fue dimensionado con la siguiente formula.

$$\text{Número del Paneles Solares} = \frac{\frac{V_{\text{bomba}} * I_{\text{bomba}} * N_{\text{cyc}} * T_{\text{cyc}}}{\eta_c * \eta_b}}{R_{n_{\text{min}}} * V_{\text{nom}}} * I_{\text{max}}$$

Donde  $V_{\text{bomba}}$  y  $I_{\text{bomba}}$  son el voltaje y la corriente valorados de la bomba respectivamente con su respectiva presión de operación.  $N_{\text{cyc}}$  y  $T_{\text{cyc}}$  son el número y duración de los ciclos de encendido y apagado de la bomba en horas.  $\eta_c$  y  $\eta_b$  son la eficiencia del controlador y la batería respectivamente.  $R_{n_{\text{min}}}$  es la radiación mensual promedio más baja del año.  $V_{\text{nom}}$  y  $I_{\text{max}}$  son el voltaje y corriente de operación del sistema fotovoltaico cuando está conectado a la batería. El segundo paso es el cálculo de la cantidad de agua bombeada por el sistema fotovoltaico dimensionado con el método autónomo. Para calcular las necesidades hídricas de la planta o evapotranspiración, el método FAO Penman-Monteith fue seleccionado como el método con el cual la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) puede ser determinado ambigüamente, y es un método que provee resultados consistentes de ETo en todo tipo de regiones y climas (Allen & Pereira, 1998).

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}}{\lambda}$$

Donde  $R_n$  es la radiación neta,  $G$  es el flujo de calor del suelo,  $(e_s - e_a)$  representa la pérdida por presión de vapor en el aire,  $\rho_a$  es la densidad promedio del aire a una presión constante,  $c_{p,s}$  el calor específico del aire,  $\Delta$  representala pendiente de la relación entre la saturación del vapor de presión y la temperatura,  $\gamma$  es la constante psicométrica, y  $r_s$  y  $r_a$  son las resistencias (promedio) de la superficie y aerodinámica respectivamente. Coeficientes del cultivo ajustados para riego por gravedad, riego por aspersión y riego por goteo son utilizados para calcular los requerimientos de agua de estos 3 tipos de sistemas de riego. Esta comparación se puede observar en la Fig.8. Como resultado de la demanda de agua de cada método de riego, la Tabla 1 resume las áreas de riego que puedes ser regadas por la bomba Shurflo Pro-baitmaster.

TABLA1. CAPACIDAD DE AREA DE RIEGO UTILIZANDO LA BOMBA SHURFLO PRO-BAITMASTER

Sistema de Riego	Area (m <sup>2</sup> )	Energía kWh/ha/cosecha
RiegoporGoteo	6500	317
Aspersión	833	1798
Inundación	454	3371

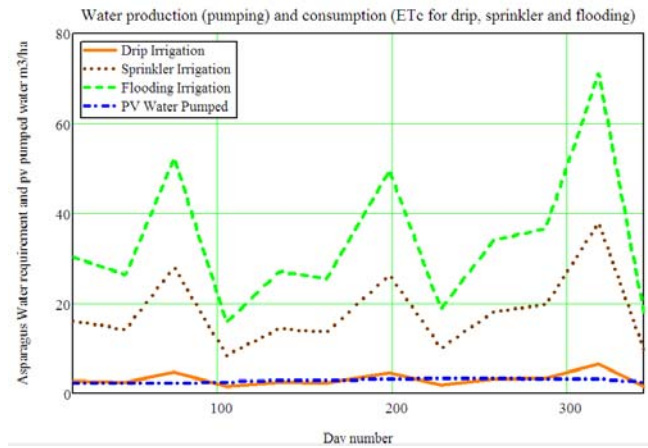


Fig. 5: Comparación de los tres métodos de riego más comunes y capacidad de volumen bombeado de la bomba Shurflo (en azul).

El proceso de dimensionamiento está resumido en la Fig. 9. Al obtener la cantidad de agua bombeada por día y el requerimiento de agua con respecto al sistema de riego y cultivo, se procede a calcular el área que la bomba es capaz de regar con el arreglo fotovoltaico diseñado con el método autónomo en el paso 5. Finalmente se aprovecha la modulariad del sitema solar para aumentar la capacidad del sistema si más área es requerida para ser irrigada de acuerdo con el ingreso del campesino.

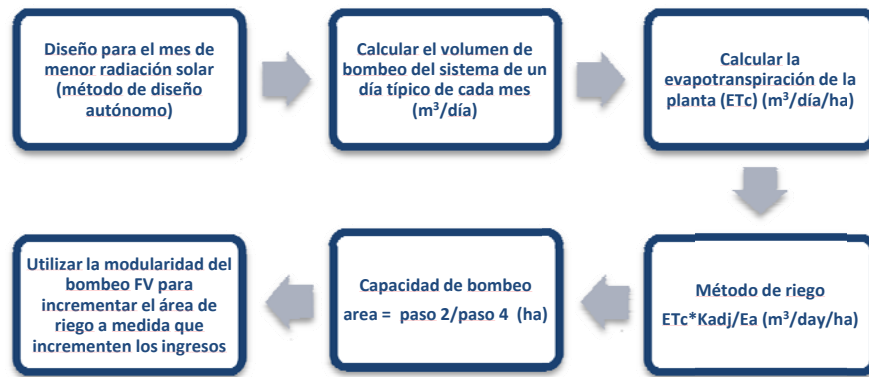


Fig. 6. Pasos a tomar para dimensionar el sistema



Fig. 7. Instalando las rayas de cintas de riego

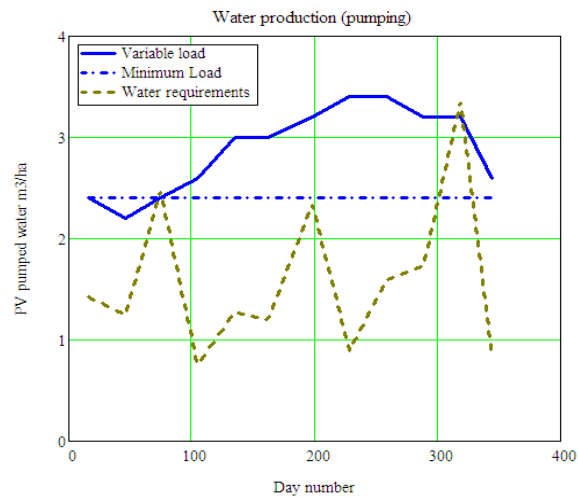


Fig. 8. Bombeo fotovoltaico utilizando el método de diseño autónomo (línea de punto y guión). Diseño FV variando la producción de bombeo de acuerdo con la radiación solar disponible (línea sólida). Requerimiento del cultivo (línea de guiones).

El espárrago tiene un requerimiento pico de agua durante el rebrote vegetativo que sigue después de la cosecha de los rebrotes. Entre esos picos hay un exceso de agua que puede ser disminuido al reducir los ciclos de bombeo por día. El beneficio de hacer esto podría ser el de extender la vida útil de la bomba, la cual es de 4 años, o de los diafragmas que es de 2 años. La Fig. 11 muestra como las necesidades de agua de la planta pueden satisfacerse al reducir los ciclos de bombeo por día. En la Fig. 12 se muestra la optimización del sistema al dejar al mismo nivel la oferta y la demanda de agua. Esto se puede realizar ajustando por cosecha el número de ciclos del reloj temporizador.

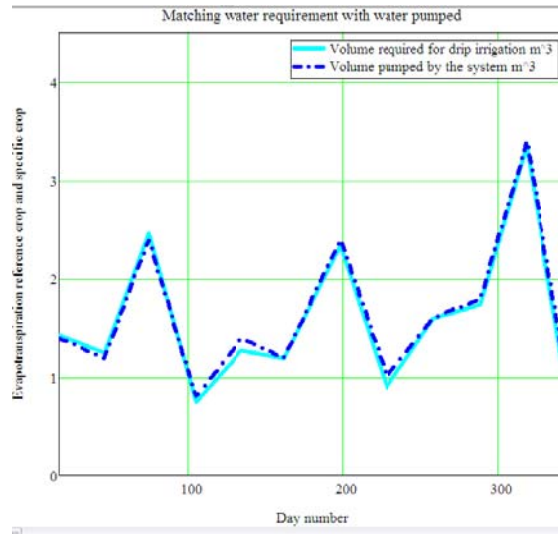


Fig. 9: Optimización del bombeo fotovoltaico de acuerdo a las necesidades de agua del cultivo.



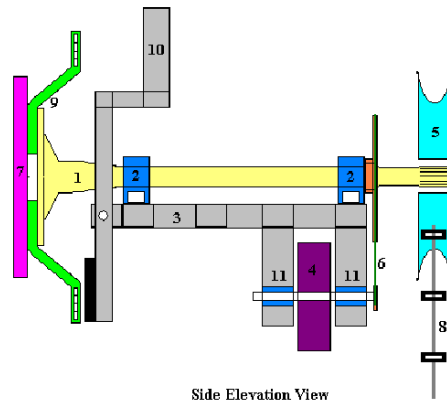
Sistema de Riego Eólico en la comunidad de Turripampa, Huarmey, Ancash, Perú

### 3.1 Riego Eólico

Otra alternativa de bombeo costeable para pequeños agricultores es la de energía eólica, el sistema tiene que ser diseñado de manera que sea simple para el campesino darle fácil mantenimiento al sistema y que el sistema de bombeo entregue una cantidad confiable uniforme de agua para poder satisfacer las necesidades del cultivo. Es

requerido que el tanque tenga cierta elevación para entregar la presión adecuada al sistema de riego. Sin embargo por que el recurso de viento tiene muchas fluctuaciones, es necesaria la integración de un sistema de respaldo que podría ser operado manualmente, o inclusive con un sistema fotovoltaico como el mencionado en 2.1.

La instalación de un sistema de adquisición de datos marca HOB0 y las impresiones de los habitantes de lugar fueron tomados en cuenta para tomar decisiones en el diseño tanto. El data logger HOB0 recolectó datos durante 6 meses previos al diseño e instalación del sistema. Se decidió acoplar el molino de viento a una bomba de sogá por su simplicidad, componentes no especializados y costeabilidad. Para hacer funcional la bomba de sogá, un molino de viento con un torque de arranque alto era necesario, por lo que se escogió el modelo Americano multi-aspas. La ubicación del sistema fue en la comunidad de Turripampa, Huarney, departamento de Ancash, Perú. Debido a las características de la vegetación de la zona, se observó que existía una tendencia unidireccional del viento por lo que se decidió diseñar una bomba de sogá eólica unidireccional por simplicidad del sistema.



Esquema del tren de transmisión

TABLA . Resumen de componentes del sistema.

Componente #	Nombre del Componente	Función
1	Eje de transmisión	Soporta la polea y la turbina – transmite poder
2	Sistema de rodamiento	Soporta el tren de transmisión
3	Marco de soporte	Mantiene el sistema
4	Embrague	Disminuye la velocidad de la turbina con altos vientos
5	Polea	Maneja la bomba de sogá
6	Cadena	Conecta el eje de transmisión con el embrague
7	Centro de la turbina	Permite que las aspas sean sustraídas del sistema
8	Soga con Pistones	Bomba de sogá
9	Freno del disco rotor	Medida de seguridad para detener el molino cuando hallan altos vientos
10	Freno del viento	Se activa cuando hay altos vientos

El prototipo del Molino de viento con bomba de sogá fue instalado en Enero del 2010 y la transferencia tecnológica fue considerada exitosa. El agricultor tomó propiedad del sistema desde su instalación, lo que ayudó a que conociera cada uno de sus componentes y le ha dado mantenimiento al sistema desde entonces. El trabajo conjunto estudiante-propietario fue de gran ayuda para la finalización del diseño ya que éste último realizó contribuciones significantes para hacer trabajar al sistema. El riego eólico es de alto mantenimiento comparado al solar, por lo tanto la asimilación de la tecnología por parte del propietario es crítica para la sostenibilidad y durabilidad del sistema, así como para el desarrollo de prototipos de investigación. The input of both farmers has been essential to the development of the prototypes, as doing research and development with the farmers and not simply for them is

crucial. Villager empowerment is a key component for the marketing of the product. The best advertisement of the product is a satisfied customer.

#### 4. RESULTS OF THE ECONOMICAL ANALYSIS

Cuatro escenarios fueron estudiados para realizar el análisis económico del sistema de Riego Solar. Dado que el sistema eólico todavía está en fase muy temprana de experimentación, todavía no es económicamente viable. Los escenarios estudiados fueron: riego por goteo con bombeo solar, riego por goteo con bomba diesel, riego por inundación con bomba diesel, riego por inundación por gravedad. Los últimos dos escenarios son las prácticas más comunes en las zonas rurales del departamento de Ancash, Perú; las cuales son muy representativas de otros países en vías de desarrollo. La siguiente tabla resume el estudio económico.

TABLA2. ANÁLISIS ECONOMICO

Tipo de sistema	Inversión Inicial	Valor Presente Neto	Tasa interna de retorno	Período de pago (yr)
<b>Riego por Goteo-Solar</b>	\$5,373	\$59,151	61%	1.5
<b>Riego por Goteo-Diesel</b>	\$6,108	\$49,082	48%	1.8
<b>Riego por Inundación-Diesel</b>	\$5,073	\$25,867	29%	2.3
<b>Riego por inundación-Gravedad</b>	\$2,406	\$7,531	11%	7.5

El sistema con el valor presente neto más alto, la tasa interna de retorno mas alta y el período de pago más bajo es el sistema de riego solar ya que el sistema reduce ambos, costos operacionales en mano de obra y combustible y aumenta producción. Los costos operativos del riego por goteo son reducidos ya que el sistema fertirriega y disminuye las malezas ocasionadas por la inundación. El análisis económico del riego solar toma en cuenta que la bomba tiene que ser remplazada cada cuatro años y/o los diafragmas cada 2 años según el fabricante. Sin embargo en nuestros sistemas instalados desde el año 2008, los diafragmas no han mostrado señales de desgaste ni ha habido necesidad de remplazar la bomba.

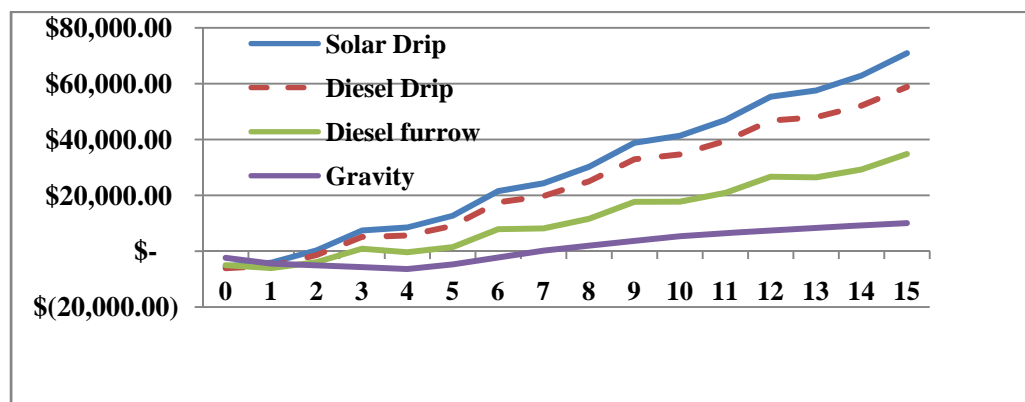


Fig. 10: Efectivo acumulado, análisis de retorno de pago con el precio de diesel a 1US\$/litro y espárrago 0.7US\$/kg

Es importante notar como la eficiencia de riego por goteo hace que el sistema de bombeo diesel sea más económico. La mayoría de los agricultores que ya tienen bombas diesel podrían aumentar su producción y reducir sus gastos solo al cambiar su sistema de riego por inundación a goteo. Especialmente para el cultivo del espárrago solamente con utilizar cualquier tubería para distribuir el agua (no necesariamente goteo) aumentaría la eficiencia de manejo del agua ya que este cultivo requiere de suelos arenosos lo que aumenta los problemas de pérdidas de agua por percolación e infiltración los cuales son muy altos cuando se riega por inundación. Es importante mencionar que todos los sistemas analizados con la misma área de riego. El estudio también toma en cuenta que las plantas de espárrago son replantadas cada cuatro años por sobre-explotación de su cosecha (3 por año). Cabe mencionar que durante la instalación inicial del sistema el precio del diesel en las zonas rurales ya había alcanzado US\$4 el litro en la comunidad del El Molino, comunidad más cercana a Turripampa que vende diesel. En este momento el riego por inundación deja de tener un valor presente neto y una tasa interna de retorno positivos. En este estudio se asume que los pozos tienen la capacidad de recuperación del bombeo demandado, sin embargo es importante observar que la mayoría de los pozos de estos pequeños agricultores son artesianos, cavados a mano y muchas veces de poca capacidad. Cabe resaltar que el requerimiento de agua para una hectárea de espárrago por goteo es de  $3.5\text{m}^3/\text{día}$  por inundación es de  $70\text{m}^3/\text{día}$  en suelo arenoso.

## **5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES, Y RECOMENDACIONES**

El sistema de riego que puede aprovechar mejor la tecnología fotovoltaica en el riego por goteo. Para dimensionar el sistema hay que tomar en cuenta ambos: el mes de menor radiación solar y el mes de mayor demanda de agua por el cultivo. Los cultivos resistentes a la sequía enlazan muy bien con las bombas pequeñas de diafragma por lo que el sistema obtiene mayor producción por unidad de área regada. El sistema de Turripampa riega un área de  $1500\text{m}^2$  utilizando riego por goteo con un arreglo solar del 250 Vatios. El sistema puede generar hasta tres cosechas por año exceptuando el primer año, con solamente una cosecha). La vida útil del cultivo disminuye al aumentar el número de cosechas por año. En el caso del espárrago se reduce de 15 años a 3. Los costos de producción de replantar cada 4 años tienen sentido económicamente ya que las ganancias de cada año son mayores, asumiendo un precio del espárrago estable. Cultivos perennes reducen los gastos de mantenimiento agrícola y hacen que los sistemas sean más costables para los pequeños agricultores. En el caso del espárrago hay un exceso de agua cuando el Kc de la planta es bajo pasado del estado vegetativo, este estado dura casi 100 días por lo que este exceso podría utilizarse para otro cultivo no perenne. Buenas prácticas agrícolas como compost, aporte vegetativo, etc, ayudan a disminuir la evapotranspiración de la planta lo que puede crear otra oportunidad para aumento del área de riego. La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo es otro factor que podría hacer el sistema más eficiente.

En conclusión, la energía solar y el riego trabajan muy bien juntas ya que típicamente a mayor radiación mayor evapotranspiración y menor radiación menor ET. El riego por goteo es un sistema muy eficiente para distribución de agua en los cultivos particularmente con buenas prácticas agrícolas. Las cosechas pueden ser triplicadas con el riego por goteo en algunos casos. Las tasas de retorno son favorable con hasta dos años de retorno de pago por el prototipo diseñado en este estudio aun tomando en cuenta tasas de intereses muy elevadas. La falta de capital con tasas de interés razonables y la falta de información técnica posan barreras potenciales para este tipo de sistemas.

Mayor investigación en el futuro incluye la finalización del prototipo de riego eólico, el desarrollo de un modelo matemático en el proceso de diseño que tome en consideración la alta correlación entre la radiación solar y la evapotranspiración con el método de probabilidades de pérdida de carga o LOLP por sus siglas en Inglés. También se espera analizar los datos almacenados en los sistemas de adquisición de datos instalados en ambos prototipos, así como los resultados de producción de 2 sistemas solares más instalados en los valles de Casma y Huarmey, así como la comparación con un sistema de riego por gravedad en canales instalado en Junio del 2010 en la comunidad de Colcap, Huanchay del departamento de Ancash, Perú.

## 6. REFERENCIAS

1. Barreto, C, and J. Duffy, 2009, “Low-Cost Solar Drip Irrigation for Small Farmers in Developing Countries,” *Proceedings American Solar Energy Society Annual Conference*, Paper 0158.
2. Hillman J. Duffy, J. 2010, Wind Powered Rope Pump for a Drip Irrigation System in Turrípampa Peru. Graduation Project Report. U Mass LowellAllen, R., & Pereira, L. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No 56*. Rome: FAO.
3. Burt, C. M., & Styles, S. W. (1999). *Drip and Micro Irrigation Design and Management for Trees, Vines and Field Crops*. San Luis Obispo, CA, USA: Irrigation Training and Research Center.
4. FAO. (1999). *Poverty Reduction and Irrigated Agriculture*. FAO, International Programme for technology and research in Irrigation and Drainage . Rome: FAO.
5. World Bank. (2000). *Expanding Electricity to remote areas: Off-Grid Rural Electrification in Developing Countries*. Washington D.C.: World Power.

## SOLAR-WIND DRIP IRRIGATION FOR SMALL FARMERS IN DEVELOPING COUNTRIES

### **Abstract**

*The aim of this project is to provide small farmers in developing countries with an affordable irrigation method that promotes the sustainable use of water and energy. To sustain the world in the future 60% of the extra food required must come from irrigated agriculture, and developing countries hold three quarters of the total world's irrigated area (FAO, 1999) where rural small farmers cultivate more than half of this agricultural land and 80% lacks electricity services (World Bank, 2000). The world's food security relies on improving irrigation techniques for smallholder agriculture in developing countries. The common irrigation practice is flooding with seasonal water gravity fed systems or diesel/gasoline powered pumps. Solar pumps are clean, efficient and have lower maintenance. Drip irrigation is 40% more efficient than furrow and takes better advantage of solar and wind pumping because of its low pressure-low flow features (Burt & Styles, 1999). Drip Irrigation represents a potential for productive uses of renewable energy, depending on the crop cycle. Drip irrigation could allow four harvests per year instead of one in the rainy season, generating enough income to pay for the system. This work is sustained as part of a twelve-year-old program with indigenous Peruvian farmers.*