

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO AL RIEGO DE HORTALIZAS. LA EXPERIENCIA DEL ÁREA HORTÍCOLA DE LA PLATA, FLORENCIO VARELA Y BERAZATEGUI

Fernando Ocampo¹, Edurne Battista², Sergio Justianovich³

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar (IPAF)

Calle 167 s/n, entre Avenida 66 y Calle 67. C.P.: 1900 Los Hornos, La Plata Buenos Aires

Tel. (0221)-4871079

Mail de contacto: ocampo.fernando@inta.gob.ar

RESUMEN: Este trabajo presenta una evaluación preliminar de un sistema que combina bombeo solar fotovoltaico, acumulación de agua en superficie y bombeo eficiente para el riego de hortalizas en el Área del Cordón Hortícola del Gran La Plata. Se analizaron los consumos hídricos y energéticos que demanda el riego en las fincas de las familias productoras y en base a ello, se dimensionó el sistema de bombeo solar y monofásico para el riego, en predios de ¼ a ½ hectárea de superficie efectiva. Los resultados obtenidos en el monitoreo indican que estos sistemas alternativos requieren capacidades de bombeo de menor potencia que las habituales, permiten aumentar los grados de autonomía de las familias productoras y reducir sus costos asociados. Para la bomba solar, la evaluación determinó que la capacidad instalada de 1,8 kW de potencia y 13 m³/h de caudal de erogación y una potencia de 1,98 kW para el arreglo de paneles solares, cumple con las demandas hídricas para el riego.

Palabras clave: bombeo solar, reservorio, bombeo eficiente, La Plata, horticultura.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, el Área Hortícola de La Plata, Florencio Varela y Berazategui (AHLPFVB) pertenece a lo que se conoce como AMBA (Área Metropolitana de Buenos Aires), territorio productivo, residencial y de servicios desarrollados en el contorno de las ciudades, en donde las formas de vida rurales y urbanas coexisten (Barsky, 2005) El AHLPFVB es una zona productiva estratégica, cuya producción abastece el 72% de las hortalizas comercializadas en el Mercado Central de Buenos Aires (García, 2012), el mercado concentrador más importantes de frutas y hortalizas del país cuyas ventas mensuales ascienden a 106.000 toneladas mensuales (Mercado Central). La producción frutihortícola del AHLPFVB presenta riesgos y vulnerabilidades que poseen diferentes variables que los originan, y en la práctica, se combinan amplificando el problema. A saber: al uso intensivo de combustibles fósiles; problemas con el servicio eléctrico; problemas con el acceso a la tierra; déficit integral para el acceso al agua; déficit general del acceso a la energía falta de legislación y uso indiscriminado de productos químicos, alta dependencia en general de productos de importación; problemas con la comercialización de los productos alimenticios; problemas de hábitat y género, (Fingermann, L. et al., 2018). En particular, los consumos de energía identificados para estas producciones, corresponden al uso de gasoil para el funcionamiento del tractor (realización de labores en el predio) y a la energía eléctrica utilizada para el bombeo de agua. Esta última presenta una gran preponderancia sobre el resto

¹ Investigador en INTA IPAF Región Pampeana

² Investigadora en INTA IPAF Región Pampeana

³ Investigador en INTA IPAF Región Pampeana

de las formas de extracción y bombeo, como el caso del uso de combustibles derivados de petróleo para el accionamiento de grupos electrógenos.

La energía para riego de hortalizas se vuelve un insumo crítico en el esquema productivo del AHLPFVB, con un modelo tecnológico basado en el uso extendido del invernáculo (García, 2011). Esta tecnología, si bien presenta beneficios al permitir intensificar la producción y obtener volúmenes constantes de hortalizas cosechadas, supone para las familias una alta dependencia energética para garantizar el riego de las superficies cubiertas.

Según datos de INDEC, la región AMBA, registra el mayor aglomerado habitacional e industrial del país, y en efecto, también se convierte en el lugar geográfico donde se concentran las mayores demandas eléctricas, que junto a la baja en las inversiones estructurales (Schmukler M., 2018) provocan déficits en épocas estivales. Esto ha generado una caída sostenida de la calidad del servicio eléctrico, aspecto que en el año 2015 llevó al Estado nacional a declarar la Emergencia del Sector Eléctrico Nacional (Decreto N°134/2015), (Clementi y Carrizo, 2016). Para las familias productoras que se ubican en el AHLPFVB, los costos asociados a los desperfectos eléctricos repercuten en forma directa.

Descripción de la tecnología evaluada

Consiste en un sistema de bombeo solar fotovoltaico, en combinación con la acumulación de agua en superficie y un sistema de bombeo eficiente para el riego de hortalizas a campo y en invernadero. Este sistema posee la capacidad de combinarse a los sistemas actuales que existen en las quintas. Está compuesto por 2 (dos) reservorios de capacidad de 17 mil litros cada uno, fabricados con materiales convencionales, tales como: perfiles en C galvanizados para generar las columnas, una malla sima dispuesta alrededor de las columnas fijada con alambre galvanizado calibre 16. Posee un recubrimiento de membrana aislante en espuma y recubierta con aluminio en una cara para evitar daños a la geomembrana, componente que se emplea para la contención de agua. Se utiliza una tapa de polietileno oscuro para evitar la generación de algas. El agua es tomada por debajo, en la unión de ambos reservorios, por una bomba de 1 HP de potencia, enviándola a las cintas de riego. Esto último se puede observar en la Figura 1.

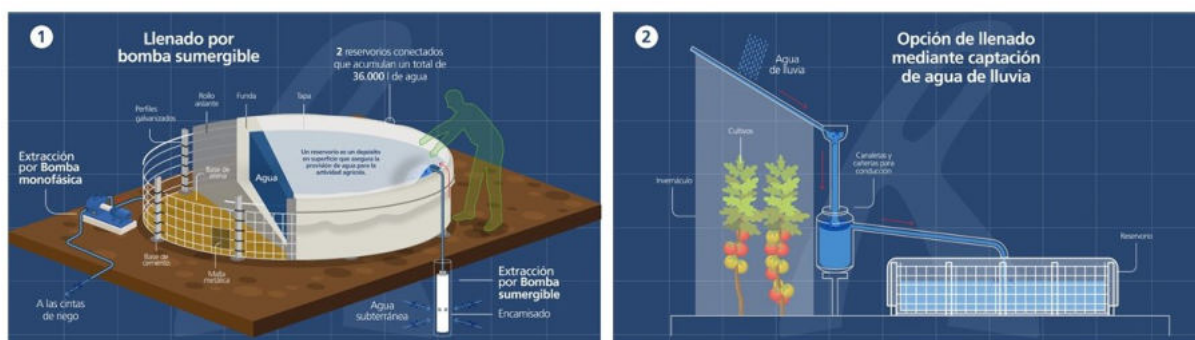


Figura 1: Esquema funcional y constructivo del sistema propuesto. A la izquierda se muestran detalles de las partes componentes del reservorio, bomba centrífuga superficial y bomba sumergible (accionada por energía solar fotovoltaica o de red). A la derecha como se pueden implementar los sistemas SCALL. No está incluido en la imagen el sistema de bombeo solar. Fuente: Elaboración Propia

Prestaciones del sistema que se evalúan en el estudio

- Permite diversificar las fuentes de energía para acceder al agua y decidir diferentes manejos, en base a las prácticas de riego establecidas (volumen de agua, tiempo, momento del día).
- Los costos asociados al riego se reducen utilizando bombeo de menor potencia.

- La reserva de agua en superficie posibilita el resguardo de agua para riego en días que los desperfectos de luz prohíben el uso de las bombas sumergibles, sobre todo en las épocas estivales, generando pérdidas parciales o totales dentro de los invernaderos (Ocampo y D'amico, 2019).
- Transportabilidad del sistema. Tanto la bomba como las partes componentes del reservorio y cañería, pueden ser desmontadas y trasladadas a otro lugar cuando finaliza el contrato de locación en la finca.
- Cuando se combinan las técnicas de cosecha de agua de lluvia se obtiene una mejora en el manejo del recurso hídrico, evitando encharcamientos producto de las precipitaciones en los predios.
- Bomba solar sumergible para recarga de reservorios. Permite disponer de agua en superficie en todo momento, ya que, además, tiene instalado un powerpack, sistema que conmuta entre la corriente alterna por el servicio contratado y la solar disponible en el día.
- La acumulación de energía se realiza mediante los reservorios (energía potencial), prescindiendo de baterías eléctricas.

El objetivo del trabajo fue evaluar la implementación de la tecnología antes descrita en el Área Hortícola de La Plata, Florencio Varela y Berazategui. Se organizó en dos secciones. En la primera se calcula la demanda de energía y agua para riego en función de las prácticas productivas de la región. Para ello se expone el razonamiento lógico utilizado para sintetizar los parámetros centrales. En la segunda sección se determina si el sistema de bombeo solar junto al bombeo monofásico superficial a partir de la acumulación de agua en superficie, reducen los costos de energía para riego. Se incluyen diferentes variables a través del trabajo de evaluación en campo. Finalmente, en base a la definición de 3 escenarios se evalúa la inversión necesaria y su retorno, estimando la amortización. Este análisis se desprende de un trabajo de Tesis de Maestría en Energías Renovables.

METODOLOGÍA

El estudio se ubica en 3 localidades del AHPFVB. Una de ellas en la Asociación 1610 de Florencio Varela (La Capilla), donde mayoritariamente la producción es a campo. La segunda en el galpón de empaque de hortalizas de la Organización de Productores MTE, Abasto - La Plata, con producción de plantines en invernadero, y hortalizas a campo. Una tercera ubicación en la localidad de Sicardi - La Plata, Organización de Productores MTE, con producción de hortalizas a campo y en invernadero.

Se analiza la aplicación de un sistema de bombeo solar combinado con acumulación de agua en superficie con bombeo de agua superficial mediante bombas centrífugas de 1HP. Se dimensiona el sistema para predios de entre $\frac{1}{4}$ de hectárea y $\frac{1}{2}$ hectárea de cultivo efectivo, trabajando con la hipótesis que utilizar equipos de bombeo de menor potencia y de consumos monofásicos, tomando agua en superficie desde los reservorios, reduce el costo asociado al riego. El uso de equipos de bombeo solar permite flexibilidad en la dependencia eléctrica y diversifica las fuentes de acceso a la energía, consiguiendo mayor autonomía para las familias. El sistema de bombeo solar abastecerá de forma continuada los reservorios en superficie, en la medida que la radiación solar sea la efectiva. No obstante, el sistema permite tomar energía de la red eléctrica convencional, por medio de un Power Pack, que convierte la corriente alterna y de alta tensión a una corriente y tensión continua de baja potencia acorde a la demanda de la bomba solar.

Se consideran 3 variables a analizar: Energía, Agua y Tiempo. La variable más importante será la energía eléctrica consumida por el sistema propuesto, mientras que tanto el tiempo y el volumen de agua puesto en juego, son producto de la primera. El equipo de bombeo solar permite extraer la cantidad de agua necesaria para el predio de media hectárea, equivalente a la extracción de agua por medio de las bombas trifásicas utilizadas de potencias del orden de los 5,5 HP a 7,5 HP. Según trabajos previos (Ocampo y D'amico, 2019), la potencia necesaria para suplir de agua a las cintas de riego, cubriendo una superficie efectiva de cultivo de $\frac{1}{4}$ Ha es de 1 HP. Así mismo el volumen óptimo de agua a reservar en superficie fue de 34 m³ (2 reservorios de 17 m³ cada uno). Finalmente, se puede establecer que los consumos eléctricos o demanda eléctrica mensual por bombeo trifásico es de 328,2 kWh/mes

Para determinar la capacidad de bombeo solar

El volumen de agua para riego diario se determina a partir de la ecuación (1), (2) y (3) y de utilizar los datos de (Ocampo y D'amico, 2019). Como durante el año las demandas hídricas varían, siendo el mayor consumo en los meses de octubre a marzo, se tomará el mayor valor para la máxima condición. A continuación, se describe el desarrollo.

$$\text{Vol. Riego Día} = (\text{Lámina/Día} \times \text{Sup. Ef. Cultivo})/1000 \quad [\text{m}^3] \quad (1)$$

$$\text{Lámina/día} = (\text{N}^\circ \text{ Got.})/\text{m}^2 \times \text{Qgotero} \times \text{Tiempo de Riego} \times \text{N}^\circ \text{ de Riegos Día} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (\text{N}^\circ \text{ Got.})/\text{m}^2 = \\ [((\text{N}^\circ \text{ de Cintas/Llave}) \times \text{N}^\circ \text{ de Llaves} \times \text{Long. Cintas})/(\text{Distancia entre Goteros})]/ \\ (\text{Sup. Ef. Cultivo}) \end{aligned} \quad (3)$$

Por lo tanto: Número de cintas a máxima demanda: 10; Cantidad de llaves: 8; Longitud de cintas: 100 metros; Distancia entre goteros: 0,1 metro (10 cm); Superficie efectiva del cultivo: 3.076,9 m² (resulta de multiplicar los 5000 m² por 0,6 que es la ocupación realmente usada por el cultivo)

Entonces:

$$(\text{N}^\circ \text{ Got.})/\text{m}^2 = 26$$

Continuando: Caudal de gotero: 1, 13 litro/hora; Tiempo de riego: 20 minutos (0,3 hora); Número de riegos por día: 2

Entonces:

$$\frac{\text{Lámina}}{\text{día}} = 17,6 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el volumen de riego diario es:

$$\text{Vol. Riego Día} = 54,2 \text{ m}^3$$

A éste volumen teórico se le debe aplicar un coeficiente de seguridad que contemple las pérdidas por infiltraciones, roturas de cintas, evapotranspiración del cultivo y de la superficie de suelo, entre otros aspectos que inciden en la demanda de agua. El porcentaje de cobertura para una superficie de ¼ (cuarto) hectárea, la cosecha de agua de lluvia en la región hortícola del Gran La Plata llega a un 43,5 % para 40 m³ de agua acumulada en superficie (Ocampo y D'Amico, 2019). Si se toman un 20% como factor de seguridad adicional, tenemos un caudal diario de 65 m³.

Determinación de la carga dinámica total

Con la carga dinámica total se conoce la presión que debe vencer la bomba para la extracción del agua. La ecuación (4) integra y describe cada variable del sistema.

$$H = H_g + S_w + J(\text{sist bomba solar}) \quad [\text{metros}] \quad (4)$$

Dónde:

H: Altura total de bomba, en metros;

H_g: Altura geométrica (nivel estático + profundidad o altura de descarga entre boca de pozo y salida al reservorio). El nivel estático se toma cuando no se está bombeando;

S_w: Altura o profundidad de abatimiento. Es la diferencia entre el nivel dinámico (cuando la bomba está funcionando) y estático (sin funcionar la bomba);

Jsist bomba solar: representa las pérdidas de carga de la cañería de extracción entre la bomba solar sumergible y la descarga en el tanque.

Se realizó un ensayo de pozo, previo a la instalación de la bomba solar, para definir los niveles estáticos y dinámicos según la extracción de agua con el objetivo de aprovechar al máximo el funcionamiento de la bomba, es decir, que la bomba no quede sin agua a la hora de su funcionamiento. Los valores de niveles son:

- Nivel estático: 16,35 metros; Nivel dinámico: 19, 55 metros (luego del ensayo de bombeo); Altura de descarga al reservorio: 1 metro (entre la salida de boca de pozo y la parte superior del reservorio); Profundidad de abatimiento: 3, 2 metros

De ésta manera, a la hora de determinar la altura total manométrica de bomba, se toma como referencia máxima la altura dinámica sobre la estática.

El caudal de ensayo fue realizado de manera escalonada, finalizando con un valor de 12 m³/hora, equivalente a la extracción diaria estimada.

Determinación de las pérdidas de carga friccionales

Se utilizó una tubería de PE (Polietileno). Las pérdidas de carga se determinaron según la ecuación (5) y (6) de Darcy – Weisbach (Giles, R V, 1962, p. 98) para los tramos rectos y accesorios (Carrazón Alocén, 2007; Ocampo y D'amico, 2019).

$$h_{tramosrectos} = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{\left(\frac{Q}{S}\right)^2}{2g}\right) [m] \quad (5)$$

$$h_{local} = K \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) = K \times \left(\frac{\left(\frac{Q}{S}\right)^2}{2g}\right) [m] \quad (6)$$

El factor de fricción f se puede calcular con el Número de Reynolds, dependiendo si el flujo se desarrolla laminar o turbulentamente. El número de Reynolds se lo puede calcular según la ecuación (7), (Carrazón Alocén, 2007):

$$Re = \frac{4 \times Q}{\pi \times D \times v} = \frac{1260633 \times Q}{D} \quad (7)$$

Donde:

Q = Caudal [m³/s]

Π = Número Pi (3,1416)

ν = Viscosidad cinemática del agua = 1,01 x 10⁻⁶ m²/s

D = Diámetro interior de la tubería [m]

Si el número de Reynolds se comporta laminarmente y éste es menor a 2000 entonces la expresión del factor de fricción será:

$$f = 64/Re \quad (8)$$

Entonces el Reynolds será para la tubería de 2'' (pulgadas) de diámetro interno, equivalente a 0,05 metros y un caudal de 12 m³/h equivalente a 0,00333 m³/s:

$$Re = \frac{1260633 \times 0,00333}{0,05} = 84.042,19$$

Como el Reynolds supera el valor de 2000, se utiliza la fórmula de Swamee y Jain (Carrazón Alocén, 2007, p. 128) con errores menores al 1,5%, y que despejando el valor de f queda:

$$f = \left(-2 \times \log \left(\frac{K}{3,7 \times D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^{-2} \quad (9)$$

Con:

K = coeficiente de rugosidad = 0,002 mm (Carrazón Alocén, 2007, p. 127)

D = Diámetro en mm (50 mm)

Re = 84.042,19

$$f = 0,018$$

Para los accesorios, sólo se utilizaron 3 codos a 90° ubicados uno a la salida de boca de pozo y los otros 2 restantes acompañando la pared del reservorio hasta la descarga como se puede ver esquemáticamente y de manera simplificada en la Figura 2. El valor del coeficiente K para el codo a 90° en 2" es de 0,57 (Carrazón Alocén, 2007).

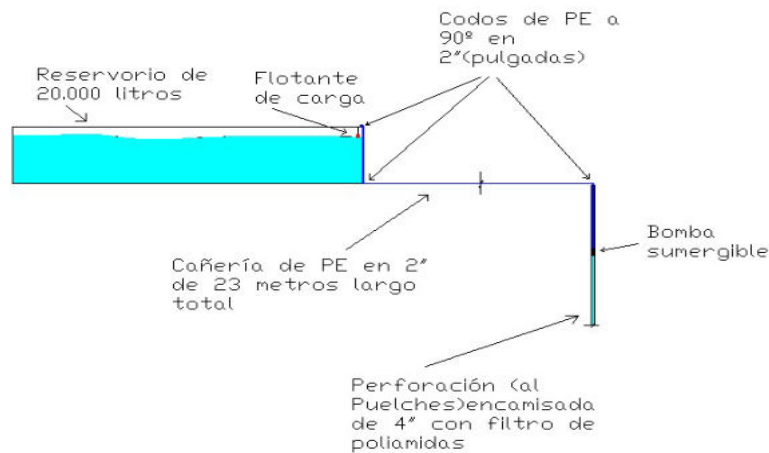


Figura 2: Esquema simplificado de la instalación de cañería y carga del reservorio mediante bomba solar. Fuente: Elaboración propia

Entonces tomando la fórmula universal de Darcy – Weisbach (Giles, R V, 1962, p. 98) (10), se determina la pérdida de carga en la tubería, cuya longitud total a la descarga del reservorio es de 23 metros finales.

$$h_{tramosrectos} = \frac{f \times L \times Q^2}{12,1 \times D^5} [m] \quad (10)$$

Para los accesorios:

$$h_{local} = K \times \left(\frac{v^2}{2g} \right) = K \times \left(\frac{\left(\frac{Q}{S} \right)^2}{2g} \right) [m] \quad (11)$$

Con:

S = la sección de la cañería interna (0,00810 m²);

Q = 0,00333 m³/s;

g = Gravedad terrestre = 9,81 m/s²;

K = Coeficiente para Codo a 90° = 0,57

$$h_{local} = 0,014 \text{ metros}$$

Finalmente se determina la altura vertical total para la bomba será la Altura geométrica total, más las pérdidas friccionales por longitud de cañería y accesorios, al cual se le suma la profundidad de abatimiento, para que la bomba trabaje siempre sumergida.

$$H_{total} = \text{Nivel Dinámico} + \text{Altura reservorio} + \text{Pérdida friccional en tubería} \\ + \text{Pérdida en accesorio}$$

$$H_{total} = 19,55 \text{ metros} + 1\text{m} + 1,21 \text{ metros} + 0,014 \text{ metros}$$

$$H_{total} = 21,724 \text{ metros}$$

Determinación de la Irradiación Solar

Para obtener los valores de la radiación solar de la zona, se consultó en la web de la Secretaría de Energía del Gobierno Argentino, Tabla 1.

Tabla 1: Horas Solares Pico (HSP) de referencia en el lugar de emplazamiento del sistema de Bombeo Solar.

Mes	HSP [kWh/m²]
Enero	7,249
Febrero	6,212
Marzo	5,066
Abril	3,863
Mayo	2,708
Junio	2,233
Julio	2,359
Agosto	3,042
Septiembre	4,427
Octubre	5,432
Noviembre	6,659
Diciembre	7,1
Promedio Anual	4,695

Fuente: Secretaría de Energía del Gobierno de Argentina. Enlace web:
<https://sig.se.gob.ar/visor/visorsig.php?t=18>

Para el cálculo se toma el promedio anual. Esto es debido a que, para la época invernal, donde la radiación es la menor, también lo es el consumo y uso del agua para el riego, por lo que la cobertura del sistema se cumple. Por conveniencia se toma el ángulo de inclinación de los paneles igual a la latitud del lugar, buscando mejorar la captación solar a lo largo del año.

Selección de la bomba solar

Para determinar el modelo y tipo de bomba, se utiliza el ábaco de la Figura 3 cuyos parámetros de referencia refiere al caudal diario de extracción y la carga dinámica total:

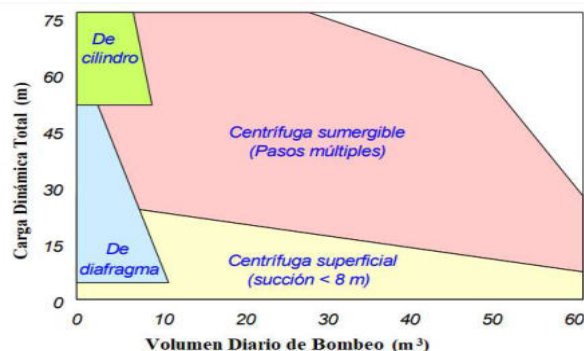


Figura 3: Diagrama de selección de bomba según la carga dinámica total y el volumen diario requerido. Fuente: Rochin y Ellis, 2000.

Se llegó al modelo PS2-1800 C-SJ8-7 cuya prestación es de 13 m³/h con una altura máxima de trabajo de 40 metros. Se utilizó el Software de Lorentz® para generar los diagramas de rendimiento con respecto a la extracción mensual de agua del lugar. La bomba, a su vez, trae incorporado su propio controlador según fabricante además que el mismo Software determina la mejor relación entre paneles y cantidades. La potencia total instalada es de 1375 Watt (referencia sobre los 800W/m² y 20° C), con un arreglo de 6 paneles, conectados según: 2 arreglos en paralelos de 3 paneles conectados en serie cada uno. La potencia del motor de la bomba es de 1220 Watt (referencia sobre los 800W/m² y 20° C), erogando un caudal de 8,9 m³/h a una altura de 25 metros (referencia sobre los 800W/m² y 20° C), según la radiación solar diaria de la zona equivale a un promedio de 66 m³ día. Si tomamos el máximo consumo de agua para riego en enero, el caudal de extracción aumenta a 75 m³/día, con lo cual se ajusta al dimensionamiento previo establecido.

Selección de la bomba monofásica

En función de las prestaciones y disponibilidades del mercado, a la hora de encontrar una bomba que pueda adaptarse a los requerimientos de riego, se optó por la marca Czerweny®, modelo ZIII.

RESULTADOS

El estudio en campo durante el período febrero 2021 - febrero 2022 permitió determinar que los reservorios instalados en superficie, se cargan con el agua de la napa a través del bombeo solar diario. La bomba solar se activa a primeras horas del sol de la mañana comenzando a cargar los 4 tanques hasta su llenado y corte automático. En función de la nubosidad existente en el día, la carga se extiende hasta las últimas horas del sol de la tarde. Al principio, los 4 reservorios demandan una carga de agua de 80 m³, la cual no es equivalente al riego diario, ya que tiene un coeficiente de seguridad producto de las pérdidas por infiltraciones y evapotranspiraciones evaluadas en el ítem metodología. A su vez, debido a que sólo se riega a la mañana temprano (de 5 a.m. a 9 a.m.) y de tarde/noche (18 p.m. a 22 p.m.), el agua necesaria está disponible para ambos turnos, ya que durante el máximo rango horario de radiación no se utiliza el agua, y la bomba completa total o parcialmente el volumen vaciado del riego anterior. El bombeo solar es automático sin intervención. En presencia de días de lluvia, o cuando se registra nubosidad durante el día que imposibilite el funcionamiento a un rendimiento normal de la bomba, ésta podrá ser electrificada desde la red eléctrica por medio del Power Pack instalado (acción aún no registrada durante el período estudiado). En la siguiente Figura 4 se muestra la instalación que se llevó adelante en una quinta de la Asociación de productores 1610 de Florencio Varela.



Figura 4: sistema de reservorios y bombeo solar instalado en la localidad de Florencio Varela. A la izquierda se observan los 6 paneles solares que alimentan a la bomba sumergible. En medio los reservorios conectados entre sí. A la derecha la vista general del sistema eléctrico, paneles solares y control de bomba solar. De fondo los invernaderos para la producción hortícola y a campo. Fuente: Elaboración propia.

Se analizaron los consumos de energía de las bombas monofásicas instaladas en superficie y la cantidad de agua erogada por la bomba solar. Para la medición de los consumos eléctricos, se instaló aguas arriba de la conexión de bombas (diferenciando a la bomba trifásica sumergible instalada en predio actualmente) el Powermeter Smart[®], el cual estuvo midiendo el consumo de las bombas centrífugas en superficie y los consumos de la bomba solar cuando la radiación solar no fue la suficiente, y ésta estaba siendo alimentada desde la red eléctrica a través del Power Pack, elemento incluido dentro del sistema solar. Para el volumen de agua, la bomba solar representa el equivalente al consumo de agua para riego diario/mensual que extrae una bomba trifásica sumergible de 5,5 HP de potencia. Los tiempos de riego fueron exactamente los mismos (antes y después de la intervención del sistema de riego propuesto) regando la misma superficie cultivada equivalente a los meses de años anteriores, recordando que según la estación del año varían los cultivos y las demandas hídricas de riego.

Por otro lado, se validó que si el sistema (reservorio-bombeo solar) está conectado con la superficie de los techos de invernáculos lindantes a los reservorios, es posible cosechar y almacenar el agua de lluvia. Ello reduce el consumo de energía y a su vez, permite disponer de agua en caso que la bomba solar no pueda ser alimentada por una caída de fases total de la red eléctrica. Según el relevamiento en los diferentes talleres participativos con las organizaciones (Barth, 2022), los cortes de luz estuvieron en el rango de los 10 a 20 por año, con duraciones que fueron desde los minutos hasta un jornal completo. En éste caso, se recurre normalmente a grupos electrógenos para impulsar cada bomba cuya potencia de funcionamiento deben ser del orden de los 20 KVA para soportar los picos de arranque de los motores trifásicos con consumos de corriente equivalentes a $3,5 \cdot I_n$ (corriente nominal). Los costos asociados al alquiler de un grupo electrógeno de ésta característica ronda los 96 U\$D por día. Para el caso de la energización de las bombas monofásicas se utiliza con la misma lógica un grupo electrógeno monofásico para los momentos de corte total. Este generador alimenta las bombas monofásicas de 1HP de potencia cada una. La potencia del grupo resulta de multiplicar los 0,736 kW por 2 (dos bombas para media hectárea) dividido un factor de potencia de 0,8, la cual da un valor de 1,84 kVA. Suponiendo un 10/20% de margen de seguridad, su busca un grupo de 2 kVA de potencia, que puede no estar alimentando a ambas bombas a la vez, diferenciando el riego. Esto último se aplica para todas las situaciones propuestas. En la Tabla 3 se muestran los consumos y costos energéticos asociados al bombeo trifásico actual, comparando con el costo energético de bombeo monofásico de las bombas centrífugas en superficies. En la Figura 5, se observan los valores mensuales y diarios de extracción de agua y caudal erogado respectivamente.

Tabla 3: comparación directa entre consumo de la bomba trifásica sumergible y las 2 bombas monofásicas para el predio de 1/2 hectárea de producción para consumos variables en el tiempo.

Consumo anual y facturación para la bomba trifásica sumergible			Consumo y facturación para las bombas centrífugas ZIII	
Mes	kWh/mes	U\$S (kWh) Sin costo fijo ni subsidio	kWh/mes	U\$S (kWh) Sin costo fijo ni subsidio
Enero	248	7.27	117.76	3.45
Febrero	152	4.45	117.76	3.45
Marzo	225	6.59	78.50	2.30
Abril	220	6.45	78.50	2.30
Mayo	150	4.40	58.88	1.73
Junio	260	7.62	58.88	1.73
Julio	50	1.47	39.25	1.15
Agosto	50	1.47	14.6	0.43
Septiembre	110	3.22	2.81	0.08
Octubre	135	3.96	78.50	2.30
Noviembre	150	4.40	78.50	2.30
Diciembre	200	5.86	117.76	3.45

El dólar de referencia fue de 103,75 AR\$ (Cotización de la moneda según: <https://www.bna.com.ar/Personas> 22/09/2021). Fuente: Elaboración propia

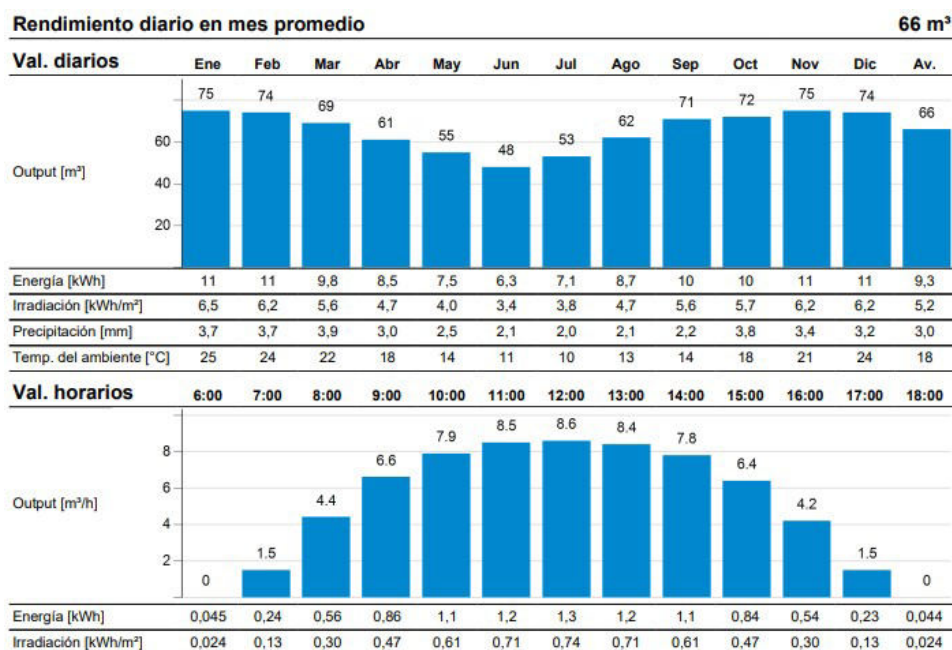


Figura 5: Extracción de agua diaria y mensual de la bomba solar instalada. Fuente: Elaboración propia en base a Software Lorentz®

El consumo energético diario promedio anual de la bomba solares de 9,3 kW/h, lo que representa unos 279 kWh/mes, que sumado al consumo de las bombas monofásicas (consumo promedio mensual anual de 70,14 kWh/mes), el consumo o demanda energética global del sistema es de 349,14 kWh/mes. De esta manera, se puede realizar un análisis económico, como se desarrolla a continuación.

Análisis económico

En base a lo anterior, a continuación, se proponen 3 escenarios, a partir de los cuales se realiza un análisis económico respecto de la inversión a realizar, generando los flujos de caja respectivos año a año. Luego se evalúa el impacto de la rentabilidad. Para la simulación, se tomó como referencia que el

sistema de bombeo solar tiene una estimación de vida útil en 20/25 años, según informan fabricantes. Se visualizan los 3 flujos de caja en la Figura 6.

Escenario A. Durante el año se producen 5 cortes de luz que requieren alquilar un grupo electrógeno para abastecer las bombas trifásicas instaladas en los predios de las familias, y se propone la alternativa del proyecto, reemplazando la bomba trifásica por la bomba solar con la acumulación de agua en superficie y bombeo monofásico en superficie.

Escenario B. Se plantean 5 cortes anuales, al igual que la situación A (5 días sin electricidad en el año), pero se agrega un corte por 3 días consecutivos, de modo que el riego en verano depende únicamente de conseguir un grupo electrógeno para sostener la demanda de las bombas trifásicas. Se destaca que, en este caso, esos 3 días solo corresponden a la mitad de los sucesos que realmente ocurren en los periurbanos.

Escenario C. En este caso, se estudiaron 5 días de corte del servicio completo en el año y se le agrega una semana (7 días más) con corte total, teniendo una totalidad de 13 días en el año. Este escenario se asemeja al que se sistematizó a partir de diferentes talleres con las organizaciones al comienzo del proyecto.

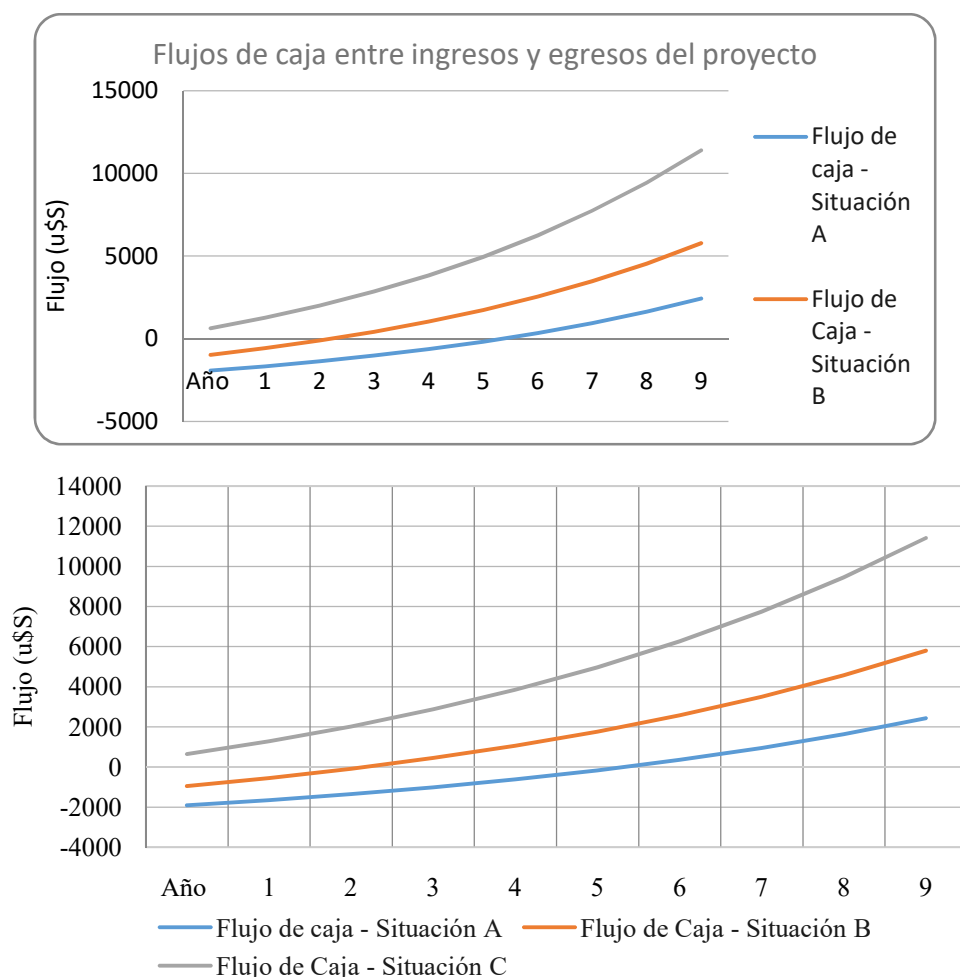


Figura 6: Flujos de caja para las tres situaciones propuestas del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Hasta la fecha, se han recabado datos que validan la reducción de costos energéticos globales para el sistema productivo en estudio, generando mayor autonomía a la hora de imprevistos en el suministro eléctrico. La experiencia analizada constituye un antecedente valioso en la aplicación solar fotovoltaica con uso agrícola, en donde se visualizan aportes en diversas aristas que contribuirían a la sustentabilidad de la propuesta. La implementación del sistema tecnológico en diferentes quintas hortícolas permitió validar el cálculo teórico de dimensionamiento de la bomba solar en función de los tres parámetros estudiados: tiempo, volúmenes de agua y energía. La estacionalidad en la producción fue un parámetro transversal en el estudio. En términos de paradigmas energéticos y dada la alta participación del AHLPFVB en la provisión de alimentos, el caso presentado abona la discusión sobre la descentralización y generación distribuida de la energía. El debate se vuelve aún más urgente al tratarse de zonas periurbanas en constante transformación y disputa. Los datos sostenidos en el tiempo permitirían comparar la implementación de la tecnología contra la forma actual centralizada y de alto costo de inversión a la hora de generar nuevos tendidos eléctricos (Schmukler M., 2018). Inversiones en sistemas descentralizados podrían, de forma menos visible, impactar positivamente al garantizar la provisión de hortalizas frescas por fuera de los modelos convencionales de energía. Resulta necesario continuar con los estudios puntuales y expandir en el territorio la tecnología para incrementar el caudal de datos.

REFERENCIAS

- Barsky, A. (2005): El Periurbano productivo, un espacio en constante transformación. Introducción al estado del debate, con referencias al caso de Buenos Aires. Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. VI(108):1. ISSN: 1138-9788
- Barth, I. (2022): Cambio climático y agricultura familiar. Sistematización de la experiencia del Proyecto Resilientes Euroclima+. INTA (en prensa)
- Carrazón Alocén, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. FAO.
- Clementi, L., & Carrizo, S. (2016). Diversificar la generación en la emergencia eléctrica Argentina del siglo XXI: viejos protagonistas, nuevas metas y dinámicas territoriales. *Energética*, (47), pp. 31–43.
- Fingermann, L.; Muscio, L.; Hall, M.; Perez, R.; Perez, M.; Dumrauf, S., Giordano, G.; Prividera, G.; Gonzalez, E.; Justianovich, S.; Muzi, M. E., Cordoba, J.; Ocampo, F.; Lavarello Herbin, A.; Castro, A.; Castro, A. S., & Battista, E.; Chierchie, L.; Novelli, M.; Hang, S. (2018). La agricultura familiar en el Área Hortícola de La Plata, Berazategui y Florencio Varela.
- García, M. (2012) Análisis de las transformaciones de la estructura agraria hortícola platense en los últimos 20 años. (Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata) <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18122>
- García, M. (2011). El Cinturón Hortícola Platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política. *Theomai*: 23; 6-2011; 35-53 http://revista-theomai.unq.edu.ar/NUMERO%2023/3_GarciaMati_35-53_.pdf
- Giles, R V. (1962). Mecánica de los fluidos e hidráulica. Teoría y problemas. 475 problemas resueltos. 2da Edición. p. 98. McGraw Hill Inc.
- Ocampo, F., y D'amico, J. P. (2019). Alternativas para aumentar los grados de autonomía de productores del cordón hortícola del gran La Plata. Acta de la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, pp. 05.13-05.24, 2019.
- Rochin, G., Ortiz, G., y Ellis, S. (2000). Energía solar para bombeo de agua: Experiencias con ranchos sustentables en Baja California Sur, Fideicomiso de Riesgo Compartido -FIRCO-, La paz, Baja California Sur. Las Cruces, New México: el Instituto de Desarrollo Tecnológico del Suroeste -SWTDI.
- Schmukler, M. (2018). Electrificación rural en Argentina. Alcances y limitaciones del Programa de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) en la provincia de Jujuy. (Trabajo final integrador). Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/893>
- Secretaría de Energía de la Nación Argentina: Irradiación Global Horizontal: <https://sig.se.gob.ar/visor/visorsig.php?t=18>, 2022.

ABSTRACT: This work presents a preliminary evaluation of a system that combines photovoltaic solar pumping, surface water accumulation and efficient pumping for the irrigation of vegetables in the Greater La Plata Horticultural Cord Area. The water and energy consumption demanded by irrigation in the farms of the producing families were analyzed and based on this, the solar and single-phase pumping system for irrigation was dimensioned, in plots of $\frac{1}{4}$ to $\frac{1}{2}$ hectare of effective surface. The results obtained in the monitoring indicate that these alternative systems require pumping capacities of lower power than the usual ones, allow increasing the degrees of autonomy of the producer families and reduce their associated costs. For the solar pump, the evaluation determined that the installed capacity of 1.8 kW of power and 13 m³/h of delivery flow and a power of 1.98 kW for the arrangement of solar panels, meets the water demands for the irrigation.

Keywords: solar pumping, reservoirs, efficient pumping, La Plata, horticulture.