Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 25, pp. 448-459, 2021 ISSN 2796-8111
ASADES 2021

CONDICIONES PARA QUE LA INCORPORACIÓN DE ENERGÍA SOLAR EN VIÑEDOS SEA UNA OPCIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE: CASO DE ESTUDIO DE MENDOZA, ARGENTINA

Romina Palazzo[1], Jorge E. Perez Peña[2], Gabriela Acosta[2] y Natacha Pizzolon[3]
[1]Maestría de Energía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Centro Universitario s/n, Mendoza, CP 5500
Teléfono: +54 (0) 261 4135212 int. 3257; E-mail: lpalazzo@uncu.edu.ar
[2] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Mendoza
San Martin 3853, M5534 Luján de Cuyo, Mendoza.
Teléfono: +54 (0)261 4 963 020 int 290; E-mail: perezpena.jorge@inta.gob.ar/ acosta.gabriela@inta.gob.ar
[3] Centro de Desarrollo Vitícola Maipú-Luján de Cuyo. Convenio INTA-COVIAR
Teléfono: +54 9 261 468 3910; E-mail: natacha@pizzolon.com.ar

RESUMEN: El objetivo del trabajo fue analizar las condiciones económicas-financieras y técnicas-productivas bajo las cuales la incorporación de energía solar para riego en viñedos es sostenible. Para esto se consideró una finca con viñedos de Ugarteche, Luján de Cuyo, Mendoza con una superficie de 18,3 ha y requería energía para la extracción y presurización del agua para riego. Se midió la eficiencia de bombeo y uniformidad de riego. De las mediciones y datos recolectados se determinaron los balances energéticos, dimensionaron sistemas fotovoltaicos y evaluaron económicamente las alternativas y escenarios considerados. Resultaron rentables las opciones sin y con mejora de riego de la alternativa de mayor dimensionamiento en el escenario de precio corriente de la energía. Entre ellas, la mejora de 15% en la uniformidad del riego duplicó la rentabilidad. Se concluye que para que la incorporación de riego solar sea sostenible son claves pautas de mejoras en el riego y energía para aprovechar los beneficios del vuelco de excedentes a la red y que las inversiones alcancen todos los posibles ahorros de energía y reducciones de emisiones de CO_2. Además de requerirse tasas de interés y precios de energía que alienten la incorporación de fuentes de energía de bajas de emisiones.

Palabras clave*:* Energía. Riego. Economía. Ambiente.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el informe sobre calentamiento global de 2018 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, siglas en inglés) la necesidad de reducir las emisiones de CO_2 conllevará transiciones rápidas y de gran alcance en los sistemas energéticos y en todos los sectores incluido el agrícola. Estas transiciones incluyen un amplio conjunto de opciones de mitigación y un importante aumento en la escala de las inversiones en esas opciones que tiendan a satisfacer la demanda de energía con un uso menor de energía, en particular mediante una mayor eficiencia energética, y el aumento de fuentes de energía de bajas emisiones.

En agriculturas bajo riego, como en la que se desarrolla la vitivinicultura de Mendoza, los insumos de energía directa son principalmente las fuentes de combustible utilizadas para hacer funcionar la maquinaria agrícola y las bombas para riego, en estas últimas generalmente ya transformada en

energía eléctrica (Pimentel, 1992). Cuando debe extraerse agua de origen subterráneo para riego, se requiere energía para el bombeo y la entrega a la finca. La energía de bombeo depende del caudal necesario para satisfacer el uso consuntivo del cultivo, de la altura o profundidad de bombeo, de la necesidad de presurización en caso necesario y las eficiencias del sistema electromecánico de bombeo y de riego (Lal, 2004). Alrededor del 23% y el 48% de la energía directa utilizada para la producción de cultivos es usada para el bombeo de las fincas (Hodges et al., 1994; Singh et al., 2002; Lal, 2004).
El clima de Mendoza, continental semiárido-árido, se caracteriza por su amplitud térmica media de verano e invierno (entre 13°C y 16,3°C), escasas precipitaciones (200-220 mm/año), radiación solar global diaria de 7 kWh/m2 en diciembre, enero y febrero y casi 3.000 horas de sol anuales. Esto demuestra el gran potencial de la zona para el aprovechamiento de radiación solar para generar energía para su uso en riego agrícola (Gallegos & Righini, 2007).

En un sistema de riego provisto por energía solar (SiRS), paneles solares fotovoltaicos generan electricidad que se utiliza para bombear agua al sistema de riego. Las bombas solares pueden abastecer métodos de riego gravitacionales o presurizados (eg. goteo, aspersión; Gopal et al., 2013).
Los sistemas solares pueden estar conectados a baterías de almacenamiento y tecnologías de inversores para el aprovechamiento de excedentes de energía. Si bien hay desarrollos promisorios en baterías de almacenamiento, continúan siendo costosas. Actualmente, una opción más rentable para almacenar energía es en forma de agua que se bombea a un tanque elevado durante las horas de sol para fincas de pequeña escala productiva o bien, el aprovechamiento de excedentes mediante las tecnologías de inversores (Senol, 2012; Gopal et al, 2013; Schnetzer & Pluschke, 2017).

Desde la perspectiva ambiental, Sass y Hahn (2020) en la evaluación de ciclo de vida de las alternativas de suministro de energía solar, electricidad de red y diésel hallaron una reducción potencial de las emisiones de CO_2 por unidad de energía utilizada para el bombeo de agua (CO_2-eq/kWh) del 95 al 97 % en comparación con las bombas que funcionan con electricidad de la red (promedio mundial de la mezcla de energía) y del 97 al 98 % en comparación con las bombas diésel. Esto demuestra que los sistemas de riego solares tienen el potencial directo de reducir las emisiones de CO_2 en la agricultura de regadío mediante la sustitución de los combustibles fósiles.

Acerca de la relación entre SiRS y eficiencia del uso del agua, Benouniche et al (2014) recogen distintas investigaciones en las que se propone que las subvenciones específicas estén vinculadas a la obligación de adoptar riego por goteo bajo el supuesto que puede aumentar la eficiencia del uso del agua. Concluyen que, sin embargo, esto no necesariamente reducirá la extracción de agua o puede incluso aumentarlo si los recursos de agua "ahorrados" se utilizan, por ejemplo, para ampliar la zona de riego. Sobre todos los puntos mencionados, quizás por la reciente aprobación del marco normativo que regula el vuelco de excedentes a la red eléctrica, Ley n° 27.424: generación distribuida de energía, no se han hallado estudios locales que aborden las implicancias de la regulación sobre aspectos tales como incentivos para el uso eficiente del agua o bien, precio óptimo de vuelco de red, así como impacto del vuelco de energía a la red en términos de rentabilidad de los proyectos. Esto muestra la relevancia de profundizar el conocimiento en la temática para mejorar las condiciones de adopción de los SiRS en Mendoza.

Este trabajo se condujo para analizar las condiciones económicas-financieras y técnicas-productivas bajo las cuales la incorporación de energía solar para riego en viñedos es sostenible.

METODOLOGÍA

Para este estudio se seleccionó una finca de 18,3 ha cultivadas con vid localizada en Ugarteche, Luján de Cuyo, Mendoza que requiere energía para el bombeo y distribución de agua para riego. El sistema solar fotovoltaico dimensionado previó la integración al sistema de bombeo y de riego por goteo existente y la conexión a la red eléctrica lo que permite el vuelco de excedentes de energía generada. El sistema de bombeo y distribución del agua para riego de la finca estaba compuesto por

electrobomba y motor sumergible.

Se recolectó información técnico-productiva de la finca (superficie cultivada e irrigada, método de riego, variedades implantadas, rendimientos productivos, características del sistema motor-bomba), así como documentación e información con la que se generó una base de datos con las siguientes variables relacionadas con la energía observadas por mes y ciclo completo de producción de la finca. Para determinar la eficiencia electromecánica de bombeo se realizaron mediciones en la finca que permitieron su cálculo, siendo su expresión:

$$\eta = \frac{Ps}{Pe} * 100 \ (1)$$

Donde:
η: eficiencia total del sistema motor-bomba
Ps: Potencia de salida de la bomba como se indica en (2)
Pe; Potencia de entrada al motor como se indica en (3)

Para la determinación de la potencia de salida de la bomba en watt, transferida al agua por la bomba, se midió lo más cerca posible del cabezal de descarga, el caudal y la altura o carga total de bombeo. Siendo su expresión:

$$Ps = qv * \rho * g * H \ (2)$$

Donde
Ps: potencia de salida de la bomba en watt.
qv: caudal en m^3/s.
ρ: densidad del agua bombeada en kg/m^3.
g: aceleración de la gravedad en m/s^2.
H: carga total de bombeo en metros.

Para la determinación de la potencia de entrada al motor se requirió que el motor eléctrico estuviera acoplado a la bomba en operación normal.

$$Pe = \sqrt{3} V * I * fp \ (3)$$

Donde
Pe: Potencia de entrada al motor en watt, para motores trifásicos.
V: tensión eléctrica en volt.
I: corriente eléctrica en ampere.
fp: factor de potencia, adimensional.

La determinación de la eficiencia energética tomó de referencia los procedimientos y valores estándar de la Norma Oficial Mexicana NOM – 006 – ENER - 2015, "Eficiencia Energética Electromecánica en Sistemas de Bombeo para Pozo Profundo en Operación – Límites y Método de Prueba" con aplicación para bombas verticales tipo turbina con motor eléctrico externo o bomba de profundidad (BP) y a las bombas sumergibles o electrobombas sumergidas (EB). De acuerdo con la normativa de referencia, cualquier sistema de bombeo para pozo profundo que utilice la energía eléctrica para su operación debe cumplir con los valores mínimos de eficiencia establecidos, y si, derivado del diagnóstico de eficiencia electromecánica del pozo en operación ésta resulte 10% menor a los valores establecidos, se debe efectuar acciones de rehabilitación o sustitución de los equipos electromecánicos.

Intervalo de Potencias		Eficiencia electromecánica (conjunto motor bomba) (%)	
kW	Hp	Bomba con motor sumergible	Bomba con motor externo
5,6 - 14,9	7,5 - 20	35	52
15,7 - 37,3	21 - 50	47	56
38,0 - 93,3	51 - 125	57	60
94,0 - 261	126 - 350	59	64

Tabla 1 Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Norma oficial mexicana NOM -006-ENER -2015, "Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación -Límites y método de prueba".

Se realizaron mediciones para determinar el coeficiente de uniformidad, útil para caracterizar un sistema de riego presurizado desde la calidad de sus materiales, el diseño hidráulico y su mantenimiento en el tiempo. Se define según la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q25}{qm} * 100 \quad (4)$$

Donde
CU: coeficiente de uniformidad.
qm: caudal medio de la instalación de riego.
q_{25}: caudal medio de los emisores que constituyen el 25% que erogan el caudal más bajo.

El coeficiente de uniformidad debe ser lo más cercano al 100% y no inferior a 90%. En el marco de la investigación se midió uniformidad en operaciones con varias secciones (válvulas) regando de forma simultánea. Se seleccionaron aquellas operaciones en condiciones más desfavorables por ser más alejadas de los cabezales de campo (Liotta, 2018). En esos sectores (válvulas), se tomaron cuatro líneas porta emisores (laterales de riego). Cada uno de los laterales se dividieron en cuatro cuartos y se seleccionó al azar una planta en cada cuarto y se midió el caudal erogado por los dos emisores a cada lado de la planta seleccionada. De esta forma se obtuvieron en cada válvula 16 pares de caudales (Merrian y Keller, 1978). Se procedió al aforo en cada uno de los sitios que correspondieron a la planta y se promedió el valor obtenido para los casos que correspondieran a más de un emisor por planta. También se hizo un promedio de los 16 caudales.

A partir del relevamiento y mediciones realizadas se seleccionaron los indicadores para evaluar la eficiencia energética asociada al riego en la unidad de análisis y el impacto alcanzable a partir de mejoras.

La intensidad energética se utiliza para expresar el desempeño energético de una determinada actividad económica, sector o país. En agricultura, intensidad energética se expresa como el uso de energía por unidad de producto. También se utiliza la proporción de uso de energía por área de cultivo (Vega Charpentier 2015; Ozkan 2007).

A partir de las mediciones y la base de datos generada se realizaron cálculos mientras que se examinó la diferencia entre volumen de agua requerido y la aplicación de riego por goteo. A continuación, se detallan variables e indicadores construidos:

$$Intensidad\ energética = \frac{kWh}{kg\ de\ uva} \quad (5)$$

Donde
kWh: consumo de energía para riego de la finca para el ciclo productivo considerado.
Kg de uva: totales producidos para el ciclo productivo considerado.

Este cálculo se obtuvo a partir de la medición del caudal de agua bombeada por el sistema motor-bomba de la perforación de la finca. Mientras que las horas de bombeo se obtuvieron de las facturas de energía eléctrica suministrada por el productor para el ciclo completo productivo considerado.

$$\boldsymbol{Lámina\ bruta\ de\ bombeo} = \frac{\boldsymbol{V_t}}{\boldsymbol{m^2\ cultivados}} \textbf{ (6)}$$

Donde
Vt: volumen total de agua para riego utilizado para el ciclo productivo considerado.
m^2 : superficie cultivada.

Para el cálculo de emisiones de CO_2 se tuvo en cuenta la metodología ACM0002 aprobada por la junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio. Se utiliza el Método Simple que equivale al promedio de las máquinas térmicas.

El Factor de emisión del Margen de Operación Simple fue calculado como el promedio ponderado de la emisión de CO_2 por unidad de generación de energía eléctrica (tCO_2/MWh; ecuación 9) de todas las plantas de energía que operan en el sistema, sin incluir las plantas de generación low-cost/must-run (LCMR).

Las LCMR representaron para el período observado el 35% de la generación total del sistema eléctrico de Argentina. Se definen como plantas de energía con bajos costos marginales de generación o despachadas independientemente de la carga diaria o estacional de la red. Incluyen las importaciones de electricidad, la generación hidroeléctrica, geotérmica, eólica, biomasa, nuclear y solar. Si una planta de combustibles fósiles se despacha independientemente de la carga diaria de la red y si esto se puede demostrar con datos públicos disponibles, puede considerarse como "low-cost/must-run (LCMR).

$$\boldsymbol{EF_{grid,OMsimple,y}} = \frac{\boldsymbol{\sum_i FC_{i,y} * NCV_{i,y} * EF_{CO2,i,y}}}{\boldsymbol{EG_y}} \textbf{ (7)}$$

Donde:
$EF_{grid\ OM\ Simple,y}$: Factor de Emisión del CO_2 del margen de operación simple en el año y (tCO_2/MWh)
$FC_{i,y}$: Cantidad de combustible fósil tipo i consumido por el sistema en el año y (Unidad de Masa o volumen)
$NCV_{i,y}$: Poder calorífico inferior del combustible fósil tipo i en el año y (GJ/unidad de masa o volumen
$EF_{CO2,i,y}$: Factor de emisión del CO_2 del tipo de combustible fósil i en el año y (tCO_2/GJ)
EGy: Electricidad Neta Generada y despachada a la red eléctrica por todas las plantas que sirven al sistema, sin incluir las plantas "LCMR" en el año y (MWh).
i: Todos los combustibles fósiles i quemados en las plantas de energía el año y.
y: Año correspondiente al período de análisis.

De acuerdo con la base de datos del Ministerio Nacional de Energía y Minería el factor de emisión (tCO_2/MWh) calculado para 2018 fue de 0,464 (Fuente: http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica, hallado el 19/11/2019).

El sistema solar fotovoltaico considerado previó la conexión a la red eléctrica e integración al sistema de bombeo y riego existente en la finca. Bajo esta modalidad, se aprovecha la energía solar producida por la instalación fotovoltaica para satisfacer la demanda energética del sistema de riego. Cuando la demanda energética es mayor que la capacidad de generación, el sistema consume energía eléctrica de la red. Mientras que en los momentos en los que la generación supera a la demanda, la energía no se pierde, sino que se inyecta a la red. El productor puede recuperar la energía previamente

suministrada a la red para consumirla en otro momento. O bien, recuperar con ingresos por ventas el pago del exceso de energía inyectado a la red y no recuperado.

Las alternativas consideradas están compuestas por captadores fotovoltaicos, modelo Yingli YL335P-35b con una orientación óptima hacia el norte y una inclinación de 30° con respecto a la horizontal al que se le integra un sistema inversor trifásico marca Fronius.

A partir de la recopilación de información histórica y mediciones realizadas se contó con: necesidades de agua de riego, eficiencia de bombeo, uniformidad de riego, consumo de energía eléctrica, su distribución temporal, profundidad de la perforación, caudal requerido y diámetro de tubería, entre otras variables relevantes. Teniendo en cuenta las necesidades de agua de riego y las características del sistema de bombeo, se determinó la potencia requerida y el tiempo de riego necesario para satisfacer las necesidades hídricas del viñedo.

Las alternativas de sistemas fotovoltaicos dimensionados consideraron la demanda de agua de riego en base a los volúmenes de agua requeridos y aplicados a partir de las mediciones realizadas en finca y datos suministrado por el productor. Se evaluaron los costos de inversión de la instalación fotovoltaica y los ingresos derivados de la energía eléctrica producida. La generación de energía solar fotovoltaica estimada fue calculada por la empresa proveedora de tecnología.

Se realizó un estudio de sensibilidad para analizar la influencia de mejoras en la gestión de riego, con objeto de establecer recomendaciones sobre la optimización de los sistemas de riego que vayan a ser abastecidos con energía solar fotovoltaica.

Para el análisis de rentabilidad de las distintas alternativas analizadas, se consideró un costo de instalación del sistema fotovoltaico llave en mano. Que continua vigente el esquema impositivo actual, así como el beneficio fiscal para la instalación de tecnologías de generación de energías renovables para su venta a la red. El monto de este beneficio al momento de la evaluación era equivalente a quince pesos por unidad de potencia expresada en vatios (15 $/W), para aquellos Usuarios-Generadores que instalaran un Equipo de Generación Distribuida con conexión a la red de distribución en los términos establecidos en la ley 27.424 y su reglamentación complementaria. Ese monto era otorgado hasta un máximo de un millón de pesos ($ 1.000.000). Dicho beneficio fiscal fue considerado en la evaluación económica de todos los escenarios planteados.

Los flujos de caja a lo largo de la vida útil del proyecto se determinaron mediante la diferencia de los egresos dejados de erogar consecuencia del ahorro en energía eléctrica consumida de la red y ahorros adicionales (o ingresos) generados por los vuelcos de excedente a la red cuando correspondió.

El ahorro de energía eléctrica se obtuvo de multiplicar la tarifa de referencia para riego agrícola de baja y alta (2,50 $/kWh y 6,36 $/kWh) vigente al momento de la evaluación por la energía solar fotovoltaica consumida por el sistema de riego. Para el vuelco de excedentes a la red se consideró la tarifa de referencia de baja (2,50 $/ kWh) de acuerdo con el marco normativo de generación distribuida que indica que la compensación económica debe corresponder al precio al cual el distribuidor compra la energía eléctrica en el mercado mayorista (precio mayorista) siendo el valor menor al precio al cual el usuario la adquiere del distribuidor (precio minorista).

Se plantearon escenarios en el que el precio de la energía permanece constante y otro a precios corrientes en el que la tarifa continua su tendencia alcista hasta eliminar el subsidio del 40% existente al momento de la evaluación a una tasa del 10% anual. La vida útil del proyecto considerada fue de 25 años. Se consideró una pérdida de eficiencia de los colectores del 5% anual.

Se evaluó el impacto de mejorar el coeficiente de uniformidad de los equipos de riego y cambios en el precio del vuelco de energía a la red. Todos los escenarios se evaluaron para la de descuento de 10%

que corresponde a la tasa de interés o descuento social de proyectos de inversión pública del BAPIN (Banco de Proyectos de Inversión Pública) de Nación bajo el supuesto de un mercado financiero que alcanza una senda de sostenibilidad de corto plazo. El tipo de cambio al momento de la evaluación fue de 61 $/USD. A partir de estos datos se ha calculado el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

RESULTADOS

Se recopilaron datos de energía de la finca que incluyeron los kWh consumidos en horarios de baja y alta demanda, así como las horas de bombeo. También se analizó la potencia contratada versus la demandada y el coseno phi.

Datos de energía – finca 1 (2017-18)	kWh			Horas bombeo	Potencia kW		Cos phi
	Baja	Alta	Total		Contratada	Demandada	
	11.463	40.397	51.860	1629	41	32	0,84

Tabla 2 Datos de consumos energéticos

Al momento de las mediciones el nivel estático y dinámico de agua fue de 19,4 y 23,5 m respectivamente. El caudal resultó de 91,6 m^3/h. El rendimiento del sistema electromecánico se encontró dentro de norma. Mientras que el coeficiente de uniformidad del equipo de riego promedio medido fue 80%. La intensidad energética resultante de la producción de uva y consumo de energía para el ciclo productivo fue de 0,22 kWh por kg de uva producida (Tabla 3y 4).

Rend. Productivo (kg/ha)	Profundidad		Caudal agua (m^3/h)	Dif. entre eficiencia hallada y referencia (%)	Intensidad Energética (kWh/kg)	Uniformidad de riego (CU%)
	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)				
12.639	19,4	23,5	91,6	0	0,22	80%

Tabla 3 Características y eficiencia en el uso del agua y energía

Para la eficiencia electromecánica de bombeo y la uniformidad de riego hallada (tabla n°3), la lámina de bombeo del ciclo productivo calculada fue de 816 mm. La lámina equivalió a 149.255 m^3 y se consumieron 51.860 kWh de energía equivalentes a 24 toneladas de CO_2. En cuanto a la relación de consumo horario de la energía eléctrica, 3,52 kWh se consumieron en horario de baja demanda por cada kWh consumido en horario de alta demanda (Tabla 4).

Volumen de agua bombeada (m^3 / ciclo productivo)	kWh/ciclo productivo	kWh baja/kWh alta	Emisiones de CO_2 e/kWh
149.255	51.860	3,52	24

Tabla 4 Requerimientos de agua y energía para riego

Los mayores requerimientos de energía se dieron entre los meses de diciembre, enero, marzo, abril, octubre y noviembre coincidiendo con la fenología de la vid. En cuanto a los mínimos de energía consumida en los meses de invierno estos se corresponden a riegos mínimos y uso de agua mediante aspersores de riego como estrategia de lucha contra heladas implementada por el productor (figura 1).

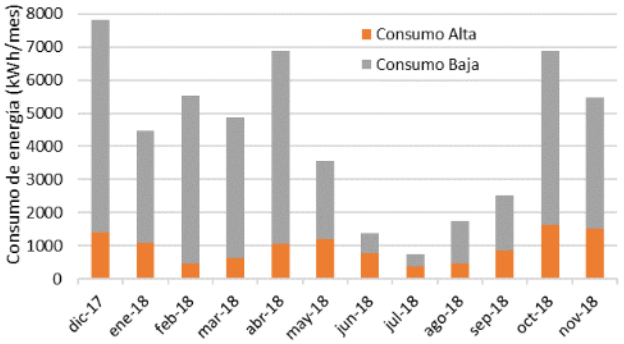

Figura 1 Energía consumida en el ciclo productivo considerado

En la Tabla 5 se presentan las alternativas de dimensionamiento de SiRS dimensionados. En la alternativa 1 abastece el 97% de la demanda de energía para riego y la alternativa 2 el 59% de esa demanda.

Alternativa de inversión	Cantidad de captadores	Inversor (Wp)	Potencia Total (Wp)	Generación (kWh/año)	% de demanda abastecida
Alt. 1	90	27000	30150	50366	97%
Alt. 2	54	27000	18090	30219	59%

Tabla 5 Dimensionamientos del Sistema de Riego Solar (SiRS)

En el dimensionamiento de los SiRS las empresas proveedoras de tecnología consideran el consumo histórico de energía para determinar la potencia a instalar. Esto implica que no se consideran ni prevén condiciones para revertir condiciones pre-existentes de ineficiencias en el uso del agua y energía.

Las figuras 2 y 3 muestran, para los dos dimensionamientos de SiRS, la energía generada frente al consumo energético a lo largo del ciclo productivo. La alternativa 1 hace posible volcar excedentes de energía a la red en el mes de enero y entre los meses de mayo y setiembre. El resto de los meses, se debería demandar energía de la red eléctrica para complementar la energía solar generada. Con la alternativa 2, y en menor magnitud que con la alternativa 1, es posible volcar excedentes de energía a la red entre los meses de junio y setiembre. El resto de los meses, como ocurre con la alternativa 1, se debería demandar energía de la red eléctrica para complementar la energía solar generada.

El balance energético para las dos alternativas es negativo, se consume más energía que la generada por el sistema de acuerdo con el porcentaje de cobertura de demanda para el cual fue dimensionado.

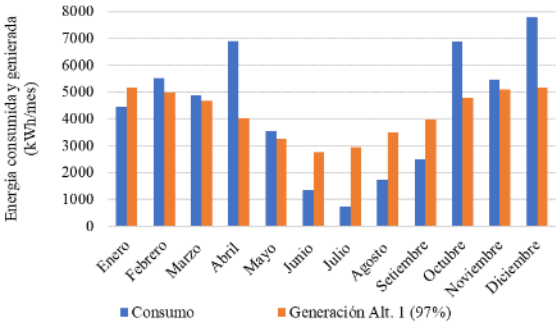

Figura 2 Energía consumida y energía generada por SiRS alt. 1 dimensionado

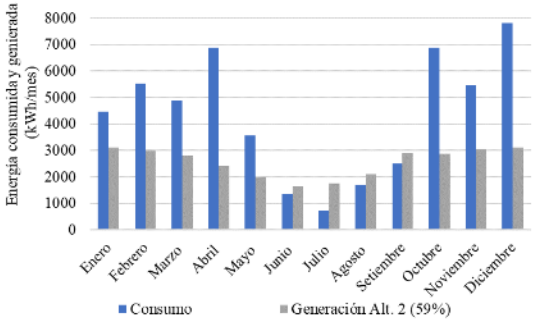

Figura 3 Energía consumida y energía generada por SiRS alt. 2 dimensionado

Del análisis precedente surge, por un lado, que la finca podría disminuir sus consumos hídricos y energéticos a partir de mejorar su uniformidad de riego. Las tablas 6, 7 y 8 muestran los cambios en el volumen de agua requerida por el productor, lámina de riego, horas de bombeo, kilovatio horas consumidos y el ahorro en el costo de energía por ciclo para un ciclo productivo a partir de mejorar la uniformidad de riego.

Horas de bombeo		Volumen requerido por el productor (m^3)		Lámina bruta de bombeo (mm)	
Actual	C/Mejora	Actual	C/Mejora	Actual	C/Mejora
1629	1378	149255	126212	816	690

Tabla 6 Impacto en horas de bombeo y uso del agua por mejora en la uniformidad de riego

kWh/ciclo productivo		kWh alta		kWh baja	
Actual	C/Mejora	Actual	C/Mejora	Actual	C/Mejora
51860	43854	11463	9693	40397	34160

Tabla 7 Impacto en el uso de la energía por mejora en la uniformidad de riego

Costo de energía alta ($)		Costo energía baja ($)		Costo energía total ($)	
Actual	C/Mejora	Actual	C/Mejora	Actual	C/Mejora
72894	61640	100920	85339	173814	146980

Tabla 8 Impacto en el costo de la energía por mejora en la uniformidad de riego

Para el ciclo productivo considerado, la mejora de uniformidad de riego hace que la lámina bruta de bombeo pase de 816 mm a 690 mm, requiriendo 126.212 m^3 de agua en lugar de los 149.255 m^3. Mientras que en términos de energía consumida la mayor uniformidad hace que se requieran 43.854 kWh en lugar de 51.860 kWh. Desde el punto de vista económico en esta finca alcanzar un riego uniforme permitiría reducir el costo energético de $173.814 a $ 146.980.

La Tabla 9 muestra el valor actual neto y tasa de interna de retorno de la evaluación económica del proyecto: "incorporación de riego solar". En el análisis se consideró la incidencia de alcanzar una uniformidad de riego del 95% para las opciones de SIRS dimensionados y escenarios de evolución de precios de la energía bajo las condiciones económicas-financieras planteadas.

Esta consideración surgió de haber resultado conveniente la evaluación económica de mejorar la uniformidad de riego en la situación sin proyecto de incorporar riego solar bajo el supuesto de que la uniformidad aumenta a partir de cambios y mejoras en el mantenimiento del sistema de riego por goteo evaluado en la finca.

Escenarios	Alternativa 1		Alternativa 2
	c/riego actual	c/riego uniforme	c/riego uniforme
Escenario 1: Precio de energía corriente	VAN: $198.112; TIR: 11,14%	VAN: $426.161; TIR: 12,42%	VAN: -$29.410; TIR: 9,72 %
Escenario 2: Precio de energía constante	VAN: -$343.195; TIR: 7,81%	VAN: -$168.488,04; TIR: 8,94%	VAN: -$275.266; TIR: 7,17%

Tabla 9 Conveniencia de incorporar riego solar en la finca 1 según escenarios y alternativa considerada

A continuación, se muestra, para las opciones en las que la incorporación del riego solar resultó no conveniente, a partir de qué precios por kWh el proyecto se vuelva rentable para el productor:

Escenarios	Alternativa 1		Alternativa 2
	c/riego actual	c/riego uniforme	c/riego uniforme
Escenario 1: Precio de energía corriente VAN=0			Px mín.: $2,60;
Escenario 2: Precio energía constante VAN = 0	Px mín.: $3,34	Px mín.: $2,85;	Px mín.: $3,64;

Tabla 10 Precios mínimos de energía a partir del cual las alternativas se vuelven convenientes

CONCLUSIONES

Del caso estudiado surgió que resultaron rentables las opciones sin y con mejora de uniformidad de la alternativa de sistema solar dimensionado para abastecer el 97% de los requerimientos energéticos históricos de la finca en el escenario de precio corriente de la energía. Entre ellas, la alternativa con mejora de un 15% en la uniformidad del sistema de riego duplicó la rentabilidad del proyecto siendo la mejor alternativa.

En particular, el escenario de precios corrientes supuesto incidió en los ahorros atribuibles al costo de energía dejada de consumir de la red eléctrica y vuelcos de excedentes a la red una vez implementado el sistema solar fotovoltaico. Mientras que el aumento de la uniformidad de riego mejoró el uso del agua y el flujo de fondos por ahorros en el costo de la energía por menor consumo de la red eléctrica. Además de generar, por la ley de generación distribuida, ahorros adicionales (o ingresos) por el vuelco de más energía a la red.

Del menor dimensionamiento del SiRS, surgió que la reducción de la inversión inicial no logró compensar los menores costos energéticos ahorrados en la relación a la situación sin proyecto, ni la pérdida de ingresos adicionales por vuelcos de energía a la red eléctrica debido a que aun generándose excedentes estos no lograron que la energía generada fuera mayor a la consumida a lo largo de 12 meses.

En relación con los precios de baja a partir de los cuales las alternativas que no fueron rentables comenzaron a serlo surgió que, bajo el escenario de precio corriente, el SiRS de menor dimensión requirió un precio de energía de $2,60 en la medida que fuera posible mejorar la uniformidad de riego. Mientras que, para el escenario de precio constante, la alternativa que requirió un menor precio mínimo ($2,85) fue la del SiRS de mayor dimensión, siempre y cuando fuera posible mejorar la uniformidad de riego en un 15%. En caso de no ser posible, se requirió un precio mínimo de $3,34. En tanto, el SiRS de menor dimensión requirió un precio mínimo de $3,64 para que el productor quedara indiferente entre invertir en riego solar bajo el supuesto que fuera posible mejorar la uniformidad de riego un 15%.

En términos generales, los resultados hallados muestran que si bien la ley de generación distribuida contribuye a mejorar la rentabilidad de incorporar tecnología solar para riego se requieren de condiciones económicas-financieras distantes a las actuales del país (tasas de interés, inflación, tipo de cambio y créditos), así como un precio de la energía que incentive la incorporación de este tipo de energías para que sea una opción económica y ambientalmente sostenible.

Por otro lado, surge que para aprovechar los beneficios del vuelco de excedentes a la red es relevante conocer tanto la eficiencia de los sistemas de riego al momento del dimensionamiento del proyecto

ya que potenciales mejoras de eficiencia impactan de manera significativa en su rentabilidad. Para que esto ocurra es relevante que se mejore la vinculación entre el campo de la energía y la agricultura. Pautas de mejoras en la gestión del riego y la energía que cuantifiquen los posibles ahorros adicionales pueden ser claves para que las inversiones alcancen todos los posibles ahorros de energía y reducciones de emisiones de CO_2.

REFERENCIAS

Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H. . (2014). Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. . *Irrigation Science, online. DOI: 10.1007/s00271-014-0438-0*.

Cálculo *del factor de emisión CO2* . (13 de Junio de 2019). Obtenido de http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica

Gallegos H. & Righini. (2007). *Atlas de Energía Solar de la República Argentina* . ISBN: 978-987-9285-36-7.

Gopal, C., Mohanraj, M., Chandramohan, P., & Chandrasekar, P. (2013). Renewable energy source water pumping systems—A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25. doi:10.1016/j.rser.2013.04.012*, 351–370.

Hodges, A.W., Lynne, G.D., Rahmani, M., Casey, C.F. (1994). Adoption of Energy and Water-Conserving Irrigation Technologies in Florida. *University of Florida.*

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International 30*, 981–990.

Ley nacional n° 27424 Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública. (2017). *Boletín oficial de República Argentina*. Argentina.

Liotta. (2018). *Evaluación del coeficiente de uniformidad en equipos de riego de riego presurizado.*

Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.). (2018). *Calentamiento global de 1,5°.* IPCC.

Merrian, J.L. and Keller J. (1978). Farm Irrigation System Evaluation: A Guide For Management, USA.

NORMA Oficial Mexicana NOM-006-ENER. (2015). *Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba.* México.

Ozkan, B., Fert, C., Karadeniz, C.F. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy 32.*, 1500–1504.

Pimentel, D. (1992). Energy inputs in production agriculture. . *Energy in Farm Production. Elsevier, Amsterdam.*

Sass J. y Hahn A. (2020). (E. G. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Ed.) Obtenido de https://energypedia.info/wiki/Solar_Powered_Irrigation_Systems_-_Technology,_Economy.

Schnetzer J. y Pluschke, L.,. (2017). Obtenido de http://www.fao.org/3/a-bt437e.pdf.

Senol, R. (2012). An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. *Energy Policy, 47, doi:10.1016/j.enpol.2012.05.049.*, 478-486.

Singh, H., Mishra, D., Nahar, N.M. . (2002). Energy use pattern in production agricultural of a typical village in arid zone, India. En *Part I. Energy Conversion and Management 43* (págs. 2275-2286).

Vega Charpentier, O. (2015). (IICA, & I. 978-92-9248-604, Edits.) Obtenido de http://repiica.iica.int/docs/B3876e/B3876e.pdf.

ABSTRACT: The objective of the work was to analyze the economic-financial and technical-productive conditions under which the incorporation of solar energy for irrigation in vineyards is sustainable. For this, a case study was carried out on a farm located in Ugarteche, Luján de Cuyo, Mendoza with a vineyard, an area of 18.3 ha and that required energy for the extraction and pressurization of water for the irrigation system. Pumping efficiency and irrigation uniformity were measured. From the measurements and data collected, energy balances were determined, photovoltaic systems were sized and the alternatives and scenarios considered were economically evaluated. The options without and

with irrigation improvement of the largest sizing alternative in the current energy price scenario proved to be profitable. Among them, the alternative with a 15% improvement in the uniformity of the irrigation system doubled the profitability of the project and was the best alternative. It is concluded that for the incorporation of solar irrigation to be sustainable, patterns of irrigation and energy improvements are key to take advantage of the benefits of feeding surpluses into the grid and for investments to achieve all possible energy savings and CO2 emission reductions. In addition, interest rates and energy prices that encourage the incorporation of low-emission energy sources are required.

Keywords: Energy. Irrigation. Economy. Environment.