

ALTERNATIVAS PARA AUMENTAR LOS GRADOS DE AUTONOMÍA DE PRODUCTORES DEL CORDÓN HORTÍCOLA DEL GRAN LA PLATA

F. Ocampo¹, J. P. D'amico²

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 – e-mail: ocampo.fernando@inta.gob.ar

Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi (EEA Hilario Ascasubi)

Ruta 3 Km 794. C. P.: 8142 Hilario Ascasubi, Partido de Villarino Buenos Aires

Tel. (02928)-491011 – e-mail: damico.juanpablo@inta.gob.ar

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

Recibido 15/08/19, aceptado 24/10/19

RESUMEN: El presente documento analiza el uso de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) y la acumulación del agua en superficie, mediante reservorios adaptados a los sistemas productivos hortícolas bajo cubierta en la zona del Cordón Hortícola de La Plata. Se evalúa el uso del agua de lluvia para riego, contemplando el porcentaje de cobertura a lo largo del año que prevé la misma. Para esto, se ha diseñado una planilla de cálculo en Excel que pretende ser una futura herramienta para dimensionar los volúmenes de reservorios óptimos en cuanto a lo factible y económico. Los resultados muestran los porcentajes de cobertura anuales para 2 casos de estudio, teniendo 50% menos de uso de bombas sumergibles reemplazadas por bombas centrífugas para riego a la salida de reservorios. La aplicabilidad del caso tendrá potencial para las grandes áreas hortícolas del país.

Palabras clave: SCALL, cultivos bajo cubierta, invernadero, bombeo de agua, reservorios.

INTRODUCCIÓN

El Área Hortícola de la Plata, Berazategui y Florencio Varela (AHLPBVF) pertenece a lo que se conoce como periurbano de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El Periurbano es un territorio productivo, residencial y de servicios desarrollados en el contorno de las ciudades, donde conviven diferentes usos del suelo y formas de vidas rurales y urbanas.

Ésta región abastece al principal consumo del país –CABA y AMBA– que ya en 2004 representaba un mercado de más de 11,5 millones de personas (INDEC, 2004), con una diversidad de actividades productivas primarias, entre ellas, horticultura, floricultura, ganadería bovina, porcina y avícola (Fingermann, L.; Muscio, L.; Hall, M.; Perez, R.; Perez, M.; Dumrauf, Giordano, G.; Prividera, G.; Gonzalez, E.; Justianovich, S.; Muzi, Cordoba, J.; Ocampo, F.; Lavarello Herbin, A.; Castro, A.; Castro, & Battista, E.; Chierchie, L.; Novelli, M.; Hang, 2018)

Los principales consumos energéticos identificados en el interior de los sistemas productivos del Cordón Hortícola de La Plata (CHLP) se asocian 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 de las formas de extracción y bombeo, como el caso de uso de combustibles derivados de petróleo para el accionamiento de grupos electrógenos. Salvo algunos casos relevados en el Parque Pereyra Iraola (“Los Arcos”) donde no hay conexión a la red eléctrica, donde el uso de grupos electrógenos está ligado principalmente a cubrir la falta de energía eléctrica durante cortes prolongados del suministro. Este aspecto ha sido relevado como un problema que se ha agravado durante los últimos años. Es inexistente la presencia de energía

¹ Investigador en INTA IPAF Región Pampeana

² Investigador en INTA EEA Hilario Ascasubi

renovable en esta dimensión. La calidad del servicio de energía eléctrica y su costo se presenta como un problema entre los productores entrevistados. Este aspecto tiene correspondencia con otros relevamientos recientes. Según un trabajo del CEPA, que entrevistó productores de las ciudades de La Plata, Florencio Varela, Quilmes y Esteban Echeverría, indica que entre 2015 y 2016 "...los incrementos en las tarifas de energía eléctrica (fuente indispensable para el riego de los sistemas hortícolas), y la suba de combustibles, entre otros aumentos, han generado que los costos de producción prácticamente se hayan duplicado". Tomando como referencia 1ha, mientras que el consumo de gasoil (tractor: 20 litro/día) en el año 2015 representaba \$4724, en 2016 fue de \$6212. Por su parte, en relación al consumo de la bomba (3000 kilowatt/bimestral), durante el mismo período el costo de energía paso de \$1200 a \$4700 (CEPA, 2015).

Recurso hídrico

La agricultura ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos. A nivel mundial, más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego. La agricultura de regadío representa el 20 % del total de la superficie cultivada y aporta el 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo (Banco Mundial, 2019).

Latinoamérica dispone del 31 % del agua azul del planeta. A la Argentina le corresponde el 6 % del total sudamericano, lo que significa un volumen disponible de 814 km³ /año. De este volumen solo se extrae entre un 4 y 6 %. Un alto porcentaje (75 %) de los aproximadamente 40 km³ de agua azul extraída por año corresponde a la agricultura irrigada, valor semejante a la media mundial y latinoamericana (FAO, 2016b).

La artificialización de los agroecosistemas provocada por el uso del invernáculo reemplazó el uso de agua de lluvia por el de agua subterránea. A su vez, este modelo tecnológico se destaca por su alta demanda y dependencia de agua de riego y de aplicación de agroquímicos. En los últimos años, en Argentina, este proceso se intensificó: la implementación del invernáculo se masificó, lo que produjo la cobertura de grandes superficies, favoreciendo el escurrimiento de las precipitaciones sobre la infiltración (García, 2011).

Por un lado, se incrementó la utilización de agua subterránea (agua azul), para garantizar las demandas hídricas de los cultivos bajo cubierta (Gastón, Flores, & Sarandón, 2016) lo que, junto al consumo doméstico urbano, pondría en riesgo la disponibilidad de las fuentes subterráneas de la región. Por otro lado, la calidad del agua en el Cordón Hortícola de La Plata también se vería afectada por el aumento de la aplicación de agroquímicos (Auge, 2006).

En cuanto a la problemática de la impermeabilización del agua de la lluvia que generan los invernaderos, y tomando la superficie bajo cubierta relevada en el año 2005 (CHFBA, 2005) de 775 hectáreas, se puede decir que: 1mm de agua de lluvia representa en una hectárea 10 m³ de agua (1m³ es equivalente a 1000 litros). Por ende, los 1015mm de lluvia promedio anual en la zona de la capital bonaerense hacen que un total de 7.866.250m³ deban buscar una vía alternativa de infiltración/escape. O más precisamente, una lluvia intensa de agua de unos 40mm en La Plata en el 2005 implicó que 310.000.000 litros no puedan infiltrarse. El anegamiento, la dificultad de circulación, el deficiente sistema de drenaje, el desregulado e impetuoso crecimiento de la superficie bajo cubierta genera una complicación, no sólo los días de lluvias, sino que su normalización demanda cada vez más tiempo (Herrero, 2015).

En la región del Gran La Plata se encuentran degradaciones de suelo vinculadas a la salinización-alcalinización debido al riego con aguas bicarbonatadas sódicas (Cuellas, 2015). El origen de las sales en los suelos es diverso, destacándose en la región de estudio un elevado agregado de fertilizantes, la calidad de agua de riego y las características del suelo a regar.

En los últimos años, se manifiesta un avance en la superficie de cultivos bajo cubierta, totalizando aproximadamente 6.517 hectáreas de invernaderos. Las hortalizas, ocupan el 84% de la superficie cultivada bajo cubierta (5.474 hectáreas) y la floricultura, el 16% restante (1.043 hectáreas), (Stavisky, 2015).

La Figura 1, muestra los porcentajes de superficie cubierta para cultivos intensivos en diferentes regiones de Argentina.

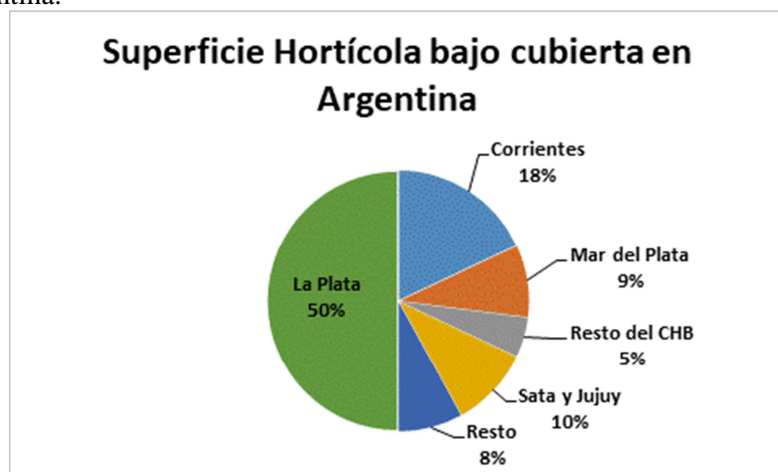


Figura 1: Porcentajes de superficie hortícola bajo cubierta distribuidas en Argentina. FUENTE: Elaboración propia en base a (García, 2014).

Para el año 2015, en el XX Congreso Internacional de Plásticos en la Agricultura realizado en Saltillo, México, se actualizaron los datos de la superficie cubierta donde, la provincia de Buenos Aires, lidera la producción bajo cubierta de hortalizas, flores, viveros y aromáticas, con una superficie cubierta de 3.884 hectáreas. La podemos dividir en dos zonas importantes siendo, el Gran Buenos Aires, (al Oeste y Noroeste de la Capital Federal,) y el Gran La Plata, al Sudeste de la Capital Federal con una superficie de 3.224 hectáreas. Esta última zona, es la de mayor crecimiento en los últimos años, por la importante influencia de la demanda que representa el área metropolitana.

Al Sudeste provincial, en los alrededores de la ciudad de Mar del Plata, se tiene una superficie cubierta de 660 hectáreas. En tanto que, en la provincia de Corrientes, existen alrededor de 1.360 hectáreas de superficie cubierta. Las provincias de Salta y Jujuy cuentan con unas 788 hectáreas de superficie cubierta. Para el resto del país, Incluyendo las provincias de Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Mendoza entre otras, es de 485 hectáreas con estructuras en gran parte, tipo capilla, y nivel tecnológico variado.

Cosecha de Agua de Lluvia

Hace aproximadamente 3.000 años los sistemas tradicionales agrícolas ya implementaban el uso de cosecha de agua de lluvia. Muchos de estos sistemas consistían en campos elevados construidos sobre tierras de inundación estacional en sabanas y laderas de montaña (Altieri & Nicholls, 2009). Las características más importantes del régimen de lluvia relacionadas con el aprovechamiento de agua son las frecuencias de las lluvias, sus volúmenes y su intensidad (las lluvias muy intensas tienden a perderse por escorrentía, mientras que las menos intensas tienden a infiltrarse y se aprovechan más (FAO, 2013).

La utilización de técnicas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia se hace más necesaria en la medida que, el patrón de ocurrencia de lluvias, en términos de volumen precipitado está en el límite inferior o por debajo de la cantidad requerida por los diferentes tipos de uso en la finca; su distribución temporal es variable con la estación del año; su distribución es incierta (patrón poco definido), pudiendo haber excesos y déficits en diferentes periodos o estaciones (FAO, 2013). Pero resulta de interés contemplar el uso de sistemas de captación y acumulación de agua de lluvia en zonas donde existen grandes superficies impermeabilizadas como se describió anteriormente.

Los techos de los Invernáculos, por su condición impermeable, producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia. El hecho de que estén en posición elevada e inclinada facilita la captación y almacenamiento del agua. Canaletas colocadas en la parte inferior del plano inclinado recogen la escorrentía del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, que pueden ser estanques o cisternas, de donde el agua es retirada para su utilización.

Se trabaja con la hipótesis que el problema del acceso a Agua se resuelve a través de un sistema (Sistema de Captación de Agua de Lluvia- SCALL) y de prácticas de manejo asociadas, así como un protocolo para el control y monitoreo de las mismas (Marino Puricelli;Moreyra Alejandra, 2012). Los atributos que deben cumplir son: “cobertura, cantidad, costo, continuidad, cultura hídrica”(Herrero, 2015).

Actualmente desde el INTA se evalúa la factibilidad de utilizar el agua de lluvia captada desde los techos de los invernáculos para su uso como riego. La hipótesis en la que se sustenta el estudio es que el agua de lluvia recolectada, implementada para el riego de un cultivo bajo cubierta, reduce los riesgos de la salinización y alcalinización de los suelos. Las consecuencias son una mejora de las condiciones edáficas (físicas, químicas y biológicas), reducción en los costos de fertilización por un uso más eficiente de los nutrientes, mejora de las condiciones generales del cultivo (reducción del estrés, sanidad, etc.) y aumento del rendimiento.

Objetivos

Éste trabajo tiene el objetivo de aumentar los márgenes de autonomía, disminuyendo consumos de energía haciendo uso eficiente de los recursos. Específicamente, se analizará el uso de reservorios que acumulen el agua de lluvia desde los techos de invernáculos en superficie, evaluando la factibilidad de utilizarla para el riego. La hipótesis se basa en que el agua de lluvia al ser utilizada para el riego de cultivos bajo cubierta, reduce los riesgos de salinización y alcalinización de los suelos, reduce los costos de fertilización por un uso más eficiente de los nutrientes y disminuye los costos de extracción de agua de las napas, pudiendo optar una bomba a la salida del reservorio (se evita elevar la columna de agua desde el pozo). Finalmente se analiza la posibilidad de utilizar energía solar fotovoltaica para el bombeo de agua en superficie.

Materiales y Métodos

A partir de la necesidad de disminuir los costos energéticos asociados al bombeo de agua en quintas de productores del CHLP, mejorar las condiciones de los suelos y cultivos, y evaluar la tecnología SCALL, se ha elaborado una síntesis descriptiva relevando: prácticas a campo; usos y manejos productivos; tipo de infraestructura asociado al diseño de los invernáculos; usos de los equipos de bombeo.

El estudio se ubica en la región de La Plata teniendo datos de las precipitaciones diarias de los últimos 19 años (serie histórica 2000 – 2019)³. En base a ésta serie histórica podemos estimar el comportamiento del modelo tecnológico SCALL adoptado determinando cual sería la cobertura de agua para riego acumulada en reservorio anualmente.

En la Tabla 1, se describen los datos y variables asociadas al análisis.

³ “Los datos meteorológicos se registraron con una estación automática marca Davis Instruments modelo Groweather industrial hasta Septiembre de 2017 a partir de octubre de 2017 se registraron con el modelo Davis Advantage Pro2, ubicada: lat 34° 59” S - long 57° 59”W de G - a.s.n.m. 45 m y procesados por el Ing. Agr. H. Martin Pardi de la sección agrometeorología dependiente de la Estación Experimental “Ing. Agr. Julio Hirschhorn” y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAyF, U.N.L.P.”

Referencia	Parámetros y Variables	Descripción
Capilla Invernáculo	Área bajo Cubierta	Es la superficie del techo del Invernáculo, encargada de recolectar el Agua de Lluvia
	Ancho de Camellón y ancho de Calle	Éstas dimensiones quedan determinadas por el tipo de cultivo a producir
	% de ocupación efectiva del cultivo	Será lo que ocupe efectivamente el cultivo dentro del invernáculo
	Área efectiva de cultivo	Será la superficie de cultivo donde mojarán los goteros
	Ancho y largo de capilla	Por lo general las dimensiones de las Naves son similares en todo el CHLP siendo de 7 x 70 m ² .
Sistema de riego	Nº de Cintas de riego por llave y cantidad de Llaves	Cada llave habilita el riego a cada porción de invernáculo y determinada cantidad de cintas.
	Tipo y marca de cintas de riego Caudal unitario de gotero	El tipo de cintas y marca definen la calidad de los mismos y los l/min o l/h de caudal erogado por gotero.
	Largo de Cinta; Cantidad de goteros por metro cuadrado; Distancia entre Goteros; Nº Total de Goteros; Lámina Efectiva de Riego	Con los largos de cintas y distancia entre goteros se obtiene la densidad de goteros por m ² , la pérdida de carga que genera el sistema y la lámina de riego que se aplica por día.
	Profundidad de Pozo	La profundidad de Pozo es la altura y/o energía necesaria para la extracción del agua de riego. En todos los casos se usan bombas sumergibles, donde a su vez éstas se encargan de presurizar el sistema de riego por goteo.
Balance de Agua del Reservorio	Precipitación diaria (Pp./día) y Precipitación Útil	Con las precipitaciones diarias de la zona, se determina la Pp. útil, descontándole una lámina por efecto de evaporación y salpicaduras que no se puede colectar.
	Umbral de Precipitación	El umbral de precipitación son los milímetros por los que se debe estar por encima de la mínima.
	Capacidad del Reservorio	La capacidad del reservorio quedará determinada en función del número de riegos por días, tiempos de los mismos, Pp. útil, y de la superficie colectora. Es la variable más importante a poner en juego para determinar su capacidad óptima.
% de Cobertura	Volumen colectado; Nº de Riegos por día; Volumen de Riego por día, Volumen inicial diario; Volumen extraído del reservorio; Volumen extraído del Pozo	Según los volúmenes de ingreso al reservorio y los aplicados al riego, se determina en que momento y cantidad se requiere extraer agua del pozo para abastecer la demanda completamente.
	% de Cobertura de Lluvia	El porcentaje de cobertura de lluvia indica en qué medida se puede cosechar agua de lluvia sin límite de reservorio.
	% de Cobertura de Reservorio	El porcentaje de Cobertura del reservorio es la porción de riego que se cubre empleando solamente el agua colectada.
	% de Cobertura de Pozo	Por último, el porcentaje de cobertura de pozo indica la cantidad de agua que se debe extraer con la bomba sumergible para completar el riego diario.
	Caudales de riego diarios y pérdidas de carga del sistema (alturas manométricas)	El requerimiento hídrico de los cultivos (caudales diarios) junto con las pérdidas de carga del sistema y profundidad de pozo (en el caso de ser utilizado) determinan las potencias hidráulicas diarias.
	Energía neta diaria (potencia hidráulica)	Energía calculada teóricamente en función de caudales y presiones
	Energía bruta diaria (energía o potencia eléctrica necesaria)	Energía afectada por los rendimientos
	Energía TOTAL diaria del Sistema	Suma de las potencias de bombas en función de la combinación elegida

Tabla 1: Descripción de las variables y parámetros analizados. FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se detallan los datos de partida y las variables asociadas al manejo de cada cultivo con respecto a los volúmenes de agua a regar relevadas a campo, y de las precipitaciones diarias de la zona que afectarán directamente al resultado del volumen de reservorio y potencia hidráulica necesaria para el bombeo.

Tener en cuenta que este trabajo ha tomado como referencia los tiempos de riego que aplica el productor promedio. De ésta manera en base al sistema de riego, equipos y distribución se ha calculado la lámina (teórica) que aplica el mismo. Esta demanda hídrica del cultivo puede llegar a diferir si se lo determinase

en función de los coeficientes de cada cultivo (Kc) y la Evapotranspiración de referencia (Eto) dentro del invernáculo, llegando a la (Etc) entre otros parámetros de cálculo que la afectan (Carrazón Alocén, 2007).

Además, en la Tabla 2, se determina el % de ocupación efectivo y la superficie de cultivo efectiva (Ecuación 1 y 2 respectivamente).

Las especificaciones de las cintas de riego de la marca Aqua – Traxx – TORO Company se obtuvieron del catálogo de productos ofrecidos por la empresa según (Toro, 2015).

Ítem	Unidades	Cantidad
Superficie Colectora	[m ²]	2450
Ancho camellón	[m]	0,8
Ancho de calle	[m]	0,5
% ocupación efectiva	%	0,6
Área de Cultivo efectiva	Superficie del Cultivo [m ²]	1507,7
Especificaciones de la cinta de riego: Aqua-Traxx: EAXxx0884	Distancia entre Goteros [m]	0,1
	Caudal/Gotero Q [l/h] @ 0,7 bar	1,42
	Presión Operativa Máx [bar]	1
Tamaño del sistema de riego	Largo de cintas de riego [m]	50
	Cantidad de Llaves	5
Profundidad de Pozo	m	36
Gravedad Terrestre g	m/s ²	9,8
Densidad del Agua	Kg/m ³	1000
Eficiencia del sistema de Riego por Goteo	Adimensional	0,9
Factor de Christiansen para salidas múltiples	Adimensional	0,356

Tabla 2: Entrada de datos principales del sistema de riego. FUENTE: Elaboración propia.

Porcentaje de Ocupación Efectiva de la Superficie de Cultivo (% Ocup. Ef.):

Es la relación que tiene el ancho del camellón respecto a la suma de su ancho más el de una calle.

$$\% \text{Ocup. Ef.} = \frac{\text{Ancho Camellón}}{\text{Ancho Camellón} + \text{Ancho de Calle}} \quad [\%] \quad (1)$$

Superficie de Cultivo Efectiva (Sup. Ef.):

$$\text{Sup. Ef. Cultivo} = \text{Sup. de Cultivo Bajo Cubierta} \times \% \text{Ocup. Ef.} \quad [m^2] \quad (2)$$

En la Tabla 3 se obtienen los valores de la densidad de goteros o N° de Goteros por metro cuadrado (Ecuación 3), la lámina de riego a aplicar por hora (Ecuación 4), y el tiempo de riego. Se determina luego la Lámina diaria de riego (Ecuación 5), siendo útil para el cálculo de volúmenes de riego diarios y posterior balance de reservorio.

Para la columna de los meses, se ha tomado como fijo los tiempos y cantidad de cintas por llave para cada porción efectiva de cultivo.

Mes	Cintas/Llave	Gotero/m ²	N° Goteros	Lámina [mm/h]	Tiempo de riego [min]	Tipo de Cultivo
En	16	27	40000	27	20	Tomate y Pimiento
Feb	16	27	40000	27	20	
Mar	16	27	40000	27	20	
Abr	8	13	20000	13	20	Cultivo de hojas
May	8	13	20000	13	20	
Jun	8	13	20000	13	20	
Jul	8	13	20000	13	20	
Ago	8	13	20000	13	20	
Sept	8	13	20000	13	20	Tomate y Pimiento
Oct	16	27	40000	27	20	
Nov	16	27	40000	27	20	
Dic	16	27	40000	27	20	

Tabla 3: Manejo del riego mensual. FUENTE: Elaboración propia en base a entrevistas a Productores Hortícolas del CHLP.

Número de Goteros por metro cuadrado (N° Got. / m^2):

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

Lámina de Riego a Aplicar por Hora (Lámina/hora):

$$\text{Lámina/hora} = N^{\circ} \text{ Got. / } m^2 \times Q_{\text{gotero}} \quad [mm/h] \quad (4)$$

Lámina de Riego Diario (mm/día):

$$\frac{\text{Lámina}}{\text{día}} = N^{\circ} \text{ Got. / } m^2 \times Q_{\text{gotero}} \times \text{Tiempo de Riego} \times N^{\circ} \text{ de Riegos Día} \quad [mm] \quad (5)$$

Cuando se cargan los valores de las precipitaciones, teniendo en cuenta el umbral de Pp. (3mm) y restando los 2 mm por pérdidas evaporativas y salpicaduras (Ecuación 6), se calcula el volumen de agua colectado en función de la superficie de los techos de invernáculos (Ecuación 7).

Precipitación Útil (Pp. Útil):

Es la cantidad de agua de lluvia útil o efectiva que se aprovecha con la superficie colectora del invernáculo. Se le descuenta 1 milímetro considerando la evaporación y salpicaduras que no puede ser cosechada.

$$Pp. \text{ Útil} = Pp. \text{ Diaria} - 1 \text{ mm} \quad [mm] \quad (6)$$

Volumen Colectado:

$$\text{Vol. Colectado} = \frac{Pp. \text{ Útil}}{1000} \times \text{Sup. de Cultivo bajo Cubierta} \quad [m^3] \quad (7)$$

La lámina de riego diaria (mm/día) se pasa a (m³/día) para tener mismas unidades a la hora del balance del reservorio (Ecuación 8).

Volumen de Riego diario:

$$\text{Vol. Riego Día} = \frac{\text{Lámina/Día} \times \text{Sup. Ef. Cultivo}}{1000} \quad [m^3/día] \quad (8)$$

Balance Diario del Reservorio

Volumen Ingresado al Reservorio (m³/día): es el volumen efectivo almacenado en función de la capacidad del reservorio y el remanente del día anterior. Para el primer día será diferente, ya que si el volumen colectado (en caso de tener alguna Pp efectiva) es mayor a la capacidad del reservorio, entonces se comienza con el reservorio lleno, de lo contrario se partirá del volumen inicial existente. A partir del segundo día de riego se tiene entonces:

$$\text{Vol. ingreso a Reservorio} = \text{Vol. Inic. Diario} - \text{Vol. Final Diario} \quad [m^3/día] \quad (9)$$

Volumen Inicial diario (m³/día): es la suma del volumen final del día anterior y el volumen ingresado al reservorio. El primer día comenzará con el volumen que ingresó al reservorio. A partir del segundo día, si la suma del volumen final del reservorio del día anterior con el volumen colectado del día de riego actual (en caso de tener alguna Pp efectiva) es mayor que el volumen del reservorio, entonces el volumen inicial diario comenzará con la suma del volumen final y el colectado.

Volumen Final Diario (m³): es la diferencia entre el volumen inicial y el volumen de riego diario.

$$Vol. Final Día = Vol. Inic. Diario - Vol. de Riego Diario [m^3] \quad (10)$$

Si la diferencia entre el volumen inicial diario y el volumen de riego diario es negativa, entonces se comienza con 0 m³ (cero) de agua, ya que no existe en el reservorio, de lo contrario dará como resultado ésta diferencia.

Porcentaje de Cobertura de Reservorio

El porcentaje de cobertura del reservorio (%CR) será útil para determinar cuánta agua de lluvia podemos usar para el riego en el año y posteriormente calcular la energía necesaria para el bombeo y obtención de sus costos. Para el cálculo del %CR se determina primero los volúmenes acumulados de cada mes para: el volumen colectado, el volumen de riego diario (acumulado en el mes), el volumen de riego desde el reservorio y el volumen de riego desde el pozo, tomando como alternativa la utilización de una bomba sumergible y una centrífuga que tome del reservorio.

Con los totales de cada mes explicado en el párrafo anterior, podemos calcular el %CR y %CLL (Ecuación 11 y 12 respectivamente).

$$\%CR = \frac{\sum Vol. regado del reservorio}{\sum Vol. de riego Total} [\%] \quad (11)$$

$$\%CLL = \frac{\sum Vol. Colectado}{\sum Vol. de riego Total} [\%] \quad (12)$$

Luego para toda la serie histórica se realiza un promedio de todos los % CR mensuales, es decir, promediar los %CR de los eneros del 2000 al 2019, los %CR de los febreros del 2000 al 2019, hasta concluir el año. Se tiene entonces un balance virtual anual de la demanda que cubriría un reservorio acumulando agua de lluvia.

Cálculo de la potencia hidráulica de bombeo

Para el esquema planteado anteriormente se determina la potencia de bombeo diario según la Ecuación 13.

$$Eh = \frac{g \cdot \rho \cdot Qd \cdot H}{3600} \left[Wh/día \right] \quad (13)$$

Dónde, Eh se expresa en Wh/día, ρ es la densidad teórica del agua (1000 Kg/m³), g es la aceleración de la gravedad (9,8 m/s²), Qd es el caudal o volumen regado por día y se expresa en m³/día y H es la altura manométrica de la bomba (incluida las pérdidas de carga del sistema).

La altura dinámica H total que requerirá la bomba resulta de plantear la ecuación general de la energía en un ducto o tubería, con pérdidas por fricción entre fluido y pared interior. Tendremos para esto una altura estática o geométrica y una dinámica. La primera será fija y la segunda variará con el caudal.

Además, se debe agregar para determinar la curva del sistema de bombeo, las pérdidas de carga friccionales entre el agua y las tuberías.

$$H = \Delta Z + (\Delta P/\gamma) + hf \text{ [m]} \quad (14)$$

Siendo ΔZ la diferencia de altura que existiría entre el pelo de agua del reservorio y la entrada a la bomba centrífuga planteada como alternativa para el riego. En este caso la bomba estaría cebada siendo favorable la presión a la entrada. ΔP y γ es el peso específico del agua. H_f es la suma de las pérdidas por fricción en tramos rectos y locales.

Las pérdidas de carga del sistema se determinaron según la Ecuación (15) y (16) de Darcy – Weisbach para los tramos rectos y accesorios (Carrazón Allocén, 2007). En la parte de las cintas de riego se aplicó el coeficiente de Christiansen para salidas múltiples (Ecuación 17) (V. Angeles Montiel, R. Arteaga Ramírez, M.A. Vázquez Peñaa, M. Carrillo García, 2007).

$$h_{\text{tramos rectos}} = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{(Q/S)^2}{2g}\right) \text{ [m]} \quad (15)$$

Siendo Q , el caudal en m^3/s ; y S la sección del tramo de cañería parcial. El resto de los parámetros se especifican en la Figura 2.

Para las pérdidas localizadas se tiene:

$$h_{\text{local}} = K \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) = K \times \left(\frac{(Q/S)^2}{2g}\right) \text{ [m]} \quad (16)$$

$$F = \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{2n} + \sqrt{\frac{\beta-1}{6n^2}} \quad (17)$$

Si reemplazamos ahora la ecuación 17 en la 15 tendremos la evolución de las pérdidas de carga en función del caudal para los laterales (cintas de riego), (Ecuación 18).

$$h_{\text{salidas múltiples}} = f \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{(Q/S)^2}{2g}\right) \times \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{2n} + \sqrt{\frac{\beta-1}{6n^2}} \quad (18)$$

Finalmente, las pérdidas de carga asociadas al sistema de bombeo “Jsist” es:

$$J_{\text{sistema}} = h_{\text{local}} + h_{\text{tramos rectos}} + h_{\text{salidas múltiples}} \text{ [m]} \quad (19)$$

Resultados y discusión

A continuación, la Figura 2 muestra el comportamiento del %CR en función de la variación de diferentes volúmenes de acumulación de agua en superficie.

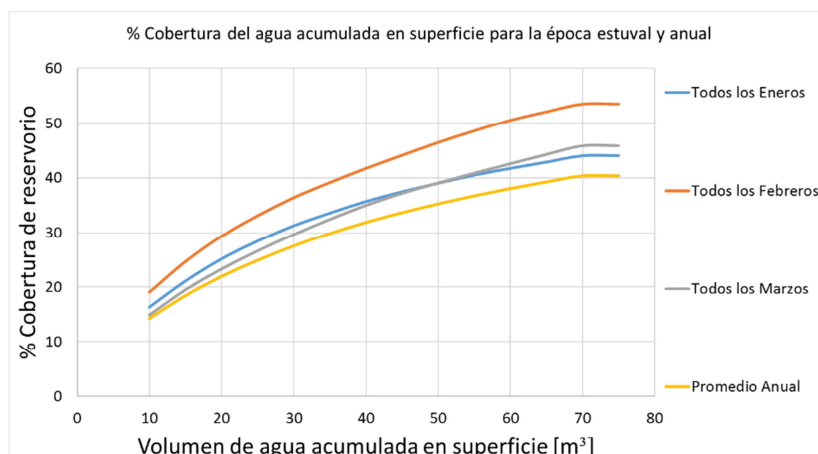


Figura 2: Cobertura de agua de lluvia para riego, para diferentes volúmenes de acumulación en superficie. FUENTE: Elaboración propia.

Esto significa que para un %CR del 40 % aproximadamente, se tiene un volumen de 60 m³ para la superficie de 2450 m² de cultivo en invernadero.

Ahora bien, si tomamos como caso de estudio el ensayo que actualmente se está llevando en la Estación Experimental Agropecuaria J. Hirschhön, Los Hornos, La Plata, Buenos Aires, se tienen dos invernáculos contiguos de 680 m² de superficie colectora. El cultivo actual (agosto, 2019) es Lechuga (*Lactuca sativa*, Variedad Crespa Isabella). Para la época estival se plantó Tomate (*Solanum lycopersicum*, de Injerto, variedad maxifot-Elpida).

En la Tabla 4 se muestra la primera parte resumida respecto a la Tabla 2.

Ítem	Descripción / Unidad	Cantidad
Superficie Colectora (Invernadero)	Superficie total [m ²]	680
Ancho camellón	[m]	0,8
Ancho de calle	[m]	0,5
% ocupación efectiva	%	0,6
Área de Cultivo efectiva	Superficie del Cultivo [m ²]	418,5
Especificaciones de la cinta de riego Aqua-Traxx: EAXxx0884	Distancia entre Goteros [m]	0,2
	Caudal/Gotero Q [l/h] @ 0,7 bar	1,42
	Presión de trabajo de cinta Máx [bar]	1
Tamaño del sistema de riego	Largo de cintas de riego [m]	40
	Cantidad de Llaves	1

Tabla 4: Descripción de las variables utilizadas en el ensayo actual (Agosto, 2019). FUENTE: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra como resultaría el comportamiento del reservorio para el riego de las hortalizas, según la serie histórica de precipitaciones para cada mes, tomando como volumen 30 m³.

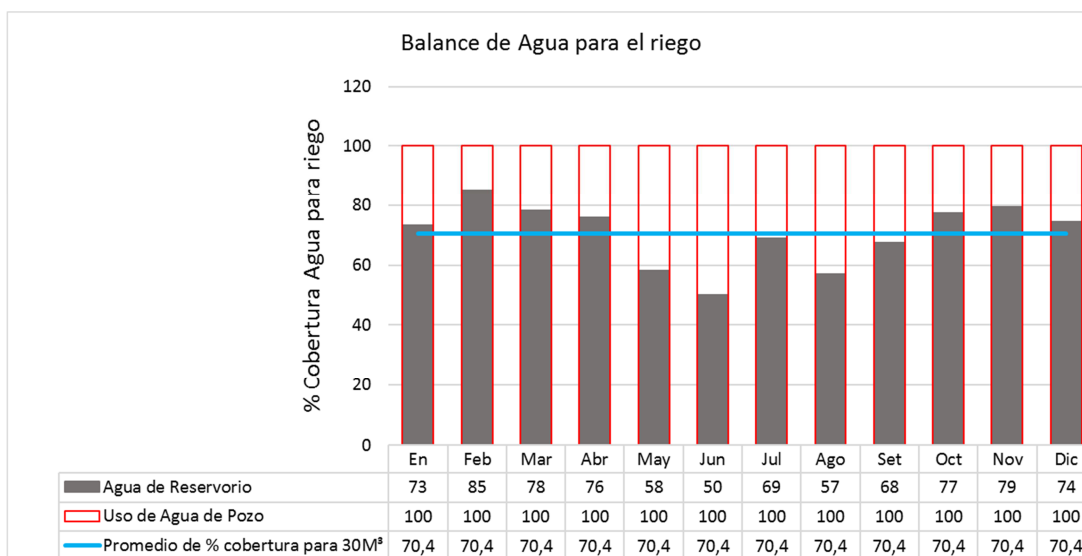


Figura 3: Distribución de agua para riego mensual. Porcentajes de cobertura de agua en superficie y pozo. FUENTE: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los meses estivales de mayor demanda de agua, se graficó el promedio de la serie histórica (2000 – 2019) para todos los %CR de los promedios de los enero, febrero y marzo. Además, se graficó el promedio anual del % de agua acumulada para un contraste general de como iría cubriendo las demandas hídricas de los cultivos bajo cubierta.

Para una primera aproximación, se puede realizar un corte en el volumen de agua acumulada en superficie, de 30 m³ para un porcentaje de cobertura del 70 % anual. Las columnas con borde rojo representarían el 100% del agua de pozo utilizada actualmente.

Como la potencia hidráulica está directamente relacionada con el balance del agua acumulada y demanda hídrica de riego, quiere decir que, para la totalidad de días del año, habrá un 30% de los cuales se utilizará la bomba sumergible preestablecida en predio para usos múltiples.

El valor de potencia necesaria por día máximo para el bombeo de agua desde el reservorio, en función del sistema de conducción adoptado es de 0,1 HP. Esto podría variar si los tiempos de riego aumentaran u otra variable que pueda modificar dicho valor. Para las pruebas se tenía una bomba en stock de 1 HP de potencia (Bomba Monofásica Centrífuga CPM - 158 - 1 HP), lo cual, para su uso fue necesario utilizar una llave esférica a la salida de la misma, para reducir la presión manométrica del sistema.

CONCLUSIONES

Los porcentajes de cobertura mensuales cubren más del 50% en todos los casos. Con esto podemos mencionar sus ventajas. La bomba sumergible que actualmente se utiliza para riego funcionará menos del 50% mensual, la potencia global hidráulica disminuye en un 50%, por lo que disminuye además un 50% los costos mensuales, siendo muy significativo respecto a los aumentos del servicio eléctrico en la actualidad. Si se pensara en el uso de energía solar fotovoltaica para la alimentación de la bomba, se requeriría un sistema estándar de 2 paneles con convertidor y regulador. En este sentido, para generar más datos al ensayo, se pretende utilizar una bomba solar para el riego desde el reservorio y cuantificar los gastos globales de energía y costos asociados al bombeo.

Por otro lado, se evaluó el uso de los sistemas SCALL, diseñando un reservorio de autoconstrucción, que permite al productor adaptarlo fácilmente al predio, siendo de carácter transportable a la hora de dejar el predio, ya que en el 90% de los casos son arrendatarios.

En cuanto al uso del agua de lluvia, se puede inferir que los datos agronómicos del cultivo plantado, tienen un aumento del rendimiento, y una mejora en la calidad del suelo para el lavado de sales. Además, se minimizó el problema de inundaciones en las calles aledañas a los invernáculos, producto de su impermeabilización, favoreciendo el laboreo a campo.

REFERENCIAS

- Auge Miguel (2006) "Agua subterránea deterioro de calidad y reserva perfil hidrogeológico La Plata – Argentina." Buenos Aires 2006. En línea:
http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo_bkp/gaye/archivos_pdf/AguaSubterraneaDeteriorodeCalidadyReserva.pdf consultado 25/09/2017.
- Altieri, M. a, & Nicholls, C. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA Revista de Agroecología*, 24(4), 5–8.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Carrazón Alocén, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego* (Octubre de).
- Cuellas, M. (2015). *Control de la salinización del suelo mediante sistemas de drenes en producciones intensivas de cultivos bajo cubierta*.
- FAO. (2013). CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA- Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. In *Santiago de Chile*.
<https://doi.org/10.1111/jce.13019>
- 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. (2011). El cinturón hortícola platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política. *THEOMAI*, 23.
- Gastón, S., Flores, C., & Sarandón, S. J. (2016). *Análisis de la sustentabilidad del uso del recurso hídrico bajo tres estilos de producción hortícola en el Cinturón Hortícola Platense*. 114(2015), 287–294.
- Herrero, M. P. ; M. Z. L. M. H. M. R. B. M. A. A. A. (2015). *AGUA SEGURA, UN ACERCAMIENTO AL PRODUCTO*.
- Marino Puricelli;Moreyra Alejandra. (2012). *Protocolo de relevamiento de la infraestructura hídrica . Su aplicación en viviendas y emprendimientos ...* <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5151.4489>
- Stavisky, A. (2015). *SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLASTICULTURA EN ARGENTINA*. 133–142. Saltillo, México.
- Toro, C. (2015). *Aqua-Traxx*.
- V. Angeles Montiel, R. Arteaga Ramírez, M.A. Vázquez Peñaa, M. Carrillo García, L. A. I. C. (2007). *FACTORES DE AJUSTE PARA LA PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS CON SALIDAS MÚLTIPLES TELESCÓPICAS O CON SERVICIO MIXTO*. 14(4).
- CEPA, 2015. *Dossier: producción hortícola*. EPPA. <http://eppa.com.ar/dossier-produccion-horticola/>
Banco Mundial, 2019. *El agua en la Agricultura*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

ABSTRACT

This document analyzes the use of rainwater harvesting systems (SCALL) and surface water accumulation, through reservoirs adapted to horticultural production systems under cover in the La Plata Horticultural Cordon area. The use of rainwater for irrigation is evaluated, considering the percentage of coverage throughout the year that it foresees. For this, an Excel spreadsheet has been designed that aims to be a future tool for sizing optimal reservoir volumes in terms of feasibility and economics. The results show the annual coverage percentages for 2 case studies, with 50% less use of submersible pumps replaced by centrifugal pumps for irrigation at the exit of reservoirs. The applicability of the case will have potential for the large horticultural areas of the country.

KEY WORDS: SCALL, crops under cover, greenhouse, water pumping, reservoirs.