

# Potencial del efluente de los parques geotermales del Sistema Acuífero Guaraní para la calefacción de invernáculos

## Potential of the Guaraní's Aquifer System geothermal parks effluent for the heating of greenhouses

Ramos, Julián Andrés (1); Blanco, Carlos Nicolás (1); Gamazo, Pablo (1); Saravia, Celmira (2); de Souza, Romina (2); de los Santos, Jorge (3); Betancur, Oscar (4); Ferreira, Álvaro (5)

(1) Departamento del Agua, Centro Universitario Regional Litoral Norte sede Salto, Universidad de la República, Salto, Uruguay.

(2) Facultad de Agronomía, Centro Universitario Regional Litoral Norte sede Salto, Universidad de la República, Salto, Uruguay.

(3) Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

(4) Facultad de Agronomía, Centro Universitario Regional Litoral Norte sede Paysandú, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.

(5) Campo Azul, Salto, Uruguay.

Contacto: jramos@unorte.edu.uy

RECIBIDO: 9/9/2017 – APROBADO: 10/11/2017

### Resumen

La energía geotérmica disponible en Uruguay es de baja entalpía y se asocia al área de confinamiento del Sistema Acuífero Guaraní, al noroeste del país. Los principales usos del agua termal son el recreacional y la balneoterapia, los cuales generan un efluente que es vertido al ambiente con altas temperaturas. En este trabajo se evaluó el uso del efluente para la calefacción de invernáculos y se presentan los balances térmicos de invernáculos con y sin aporte de calefacción. A su vez, se calcula el ahorro energético obtenido frente a un sistema de calefacción convencional. De acuerdo a los resultados, el poder contar con energía geotérmica de baja entalpía para calefaccionar invernáculos representa un ahorro de energía eléctrica de 4,46 kWh/m<sup>2</sup> o de 0,61 l/m<sup>2</sup> de gasoil en el mes de máxima demanda energética. La investigación permitió dilucidar la oportunidad de una acción que se viene esbozando como atenuante en el control de heladas y que permite mejorar la calidad de la fruta de tomate, reduciendo el impacto ambiental por el vertido directo del agua termal en los cursos de agua.

**Palabras clave:** Geotermia, calefacción, invernáculos, tomate.

### Abstract

In Uruguay, the availability of low enthalpy geothermal energy is associated with the area where the Guaraní Aquifer System is confined, in the northwest of the country. The main uses of thermal water are recreational and balneotherapy, which generate an effluent with high temperatures that is discharged to the environment. In this article we evaluate the use of this effluent for the heating of greenhouses and present the thermal balance of greenhouses with and without heating. In addition, the energy obtained from the effluent is compared to conventional heating system. Results show that the greenhouses heated with low enthalpy geothermal energy represent an electrical energy saving of 4,46 kWh/m<sup>2</sup> or 0,61 l/m<sup>2</sup> of diesel in the month of maximum energy demand. We also elucidate the opportunity of an action that has been outlined for frost controlling, improving tomato fruit quality and reducing the environmental impact of the thermal effluent on the environment.

**Keywords:** Geothermal, heating, greenhouses, tomato.

## Introducción

La energía geotérmica disponible en Uruguay es de baja entalpía y se asocia al área donde se halla el Sistema Acuífero Guaraní, al noroeste del país. Por gradiente geotérmico, 3 °C de aumento cada 100 metros de profundidad, se produce un aumento de la temperatura del agua del acuífero, la cual alcanza la superficie a través de perforaciones infrabasálticas

con hasta 30 °C por encima de la media de pozos someros. La perforación infrabasáltica de mayor temperatura a boca de pozo se encuentra en Salto, pertenece a OSE y alcanza los 49 °C. Según Bossi et al. (2011), la explotación con pozos puede alcanzar caudales cercanos a los 800 m<sup>3</sup>/h y, por lo tanto, podría cubrir necesidades de abastecimiento público, riego, consumo en fábricas, secado de grano, amortiguación de heladas, entre otros usos. Cernuschi (2014) explica que

este recurso geotermal podría presentar usos directos que significarían un ahorro de energía eléctrica de otras fuentes.

Hoy, el recurso geotermal en Uruguay solo tiene aplicaciones recreativas y de balneoterapia. Estas actividades producen un efluente que es vertido a los ríos cercanos, tras un recorrido variable para su enfriamiento. Previo al enfriamiento se constata que la temperatura del agua se encuentra entre 30 y 40 °C. Este rango de temperaturas es aplicable a la calefacción de especies vegetales bajo protección (López, et al., 2000).

El tomate es el principal cultivo hortícola de Uruguay, tanto en volumen físico (53,6% del total de las hortalizas en la zafra 2012-2013), como económico. Su producción se desarrolla principalmente en la zona de Salto y Bella Unión, en un área de 1,38 km<sup>2</sup> (206 productores) en la zafra 2012-2013, con una producción de 19.044 toneladas, mientras que en el sur se cultivan 0,73 km<sup>2</sup> (236 productores), en Montevideo y Canelones, con una producción de 7.705 toneladas (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2013).

En el norte del país este cultivo se hace contra estación, aprovechando ventajas comparativas por factores naturales y los buenos precios que se pueden obtener por la producción fuera de su época normal de fructificación (Barboza, 2008).

El tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) pertenece a la familia de las Solanáceas. Es una planta de origen americano, de la zona de Perú, Ecuador, propia de climas cálidos. Es una especie de ciclo estival indiferente al fotoperíodo, cuya temperatura óptima varía con el estado fenológico y que crece mejor con temperatura variable que con temperatura constante (Calvert, 1966). Después del trasplante, los óptimos de temperatura son desde 18-22 °C para el día y 15-17 °C para la noche. Una temperatura por debajo de 12 °C ralentiza el crecimiento y aparecen síntomas de deterioro. Temperaturas bajo 10 °C causan efectos negativos sobre la floración, reduciendo el cuajado de los frutos (Benacchio, 1982) y produciendo la muerte de tejidos si la temperatura es menor a 0 °C.

Cuando la temperatura del aire es inferior o igual a 0 °C, los productores a menudo utilizan el término helada. Según Snyder et al. (1987) y Kalma et al. (1992), se pueden definir dos tipos de heladas: advectiva y radiativa. La primera se asocia a la entrada de grandes masas de aire frío y a una temperatura en la mayoría de las ocasiones por debajo de 0 °C, incluso durante el día. En las heladas por radiación la disminución de la temperatura se produce debido a la pérdida de energía por intercambio radiante durante las noches despejadas y sin presencia de viento (FAO, 2004). En Uruguay durante la estación invernal muy frecuentemente se producen heladas por radiación que pueden generar daños muy severos en producciones hortifrutícolas. Para poder contrarrestar los efectos de las heladas existen técnicas de protección que se pueden clasificar en métodos pasivos y activos (Kalma, et al., 1992). Los primeros son utilizados con fines preventivos y son usados normalmente para un período largo de tiempo. Los segundos son considerados como temporales y requieren el uso intenso de energía o trabajo, o de ambos. En la producción hortícola del norte de Uruguay, para el control de heladas son mayormente utilizados los métodos activos. Dentro de estos se pueden mencionar varias técnicas, por ejemplo: estufas, ventiladores, aspersores, riego de superficie, e incluso uso de helicóptero. De estas técnicas, la más utilizada en Uruguay son los aspersores, que se instalan sobre el techo de los invernaderos para generar una delgada capa de hielo que al formarse libera calor evitando que dentro del invernáculo la temperatura baje de 0 °C.

La calefacción de invernáculos, con diferentes fuentes de energía, ha sido estudiada por diversos autores, quienes concluyen que el aporte de energía a los cultivos contribuye a la precocidad y al incremento de la producción (Sainato, et al., 1999; Iriarte, et al., 2002; López, et al., 2000). Otero (1982) realizó en Salto un ensayo sobre fitoreguladores en la inducción del cuajado del tomate y halló que la calefacción del invernáculo con agua termal es el factor que más aumentó la precocidad de las variedades.

La posibilidad de contar con un predio con efluentes termales y con superficie suficiente para realizar una experiencia a escala real motivó la presentación de un proyecto al Fondo Sectorial de Energía de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII). El proyecto tuvo como fin central utilizar efluentes de los parques termales para calefacción de invernáculos. El objetivo de este trabajo es mostrar la experiencia realizada y transmitir los principales resultados obtenidos.

## Materiales y métodos

La investigación fue llevada a cabo en inmediaciones de las termas de Daymán, al suroeste de la ciudad de Salto, Uruguay, en un terreno cedido por la Curia Eclesiástica de Salto aledaño a la perforación termal de la Intendencia. Este terreno tiene una superficie suficiente para atender varias actividades relacionadas con el uso directo de estas aguas, entre las que se cuentan las piscinas del hotel y del camping, y un proyecto de piscicultura. La topografía natural del terreno posibilita la captación y conducción por gravedad de los efluentes de las piscinas termales.

En el predio se construyeron dos invernáculos de 21 x 24 m, orientados en dirección E-O, con altura central de 4 m y lateral de 2 m. La estructura se conformó con madera de eucaliptus y cobertura de polietileno térmico de 150 µm. En el compartimento al este de cada invernáculo se sembró la variedad de tomate americano de ciclo largo Elpida.

Las plántulas de tomate se trasplantaron en tresbolillo cada 0,2 m y la conducción se realizó con el sistema holandés de hilo vertical, en forma similar a lo adoptado por los productores de la zona.

Para el sistema de riego se empleó riego localizado con cinta con emisores a 0,20 m con un caudal de 1,5 l por emisor y una presión operativa de 7 mca.

El tratamiento fitosanitario se realizó con productos orgánicos. Como medida preventiva se colocó sobre los canteros polietileno negro de 30 µm de espesor para evitar el crecimiento de especies vegetales no deseadas que pudieran competir con el cultivo por recursos como la radiación y los nutrientes. También se instalaron mallas anti-áfidos en todo el perímetro del cultivo de tomate para evitar el ingreso de insectos desde el exterior y reducir al mínimo posible las aplicaciones de control.

Para llevar a cabo el control de heladas se instalaron aspersores sobre el techo de los invernáculos. Mediante un sistema automático dotado de sensores de temperatura, los aspersores se accionaban una vez que la temperatura del aire alcanzaba los 2 °C. Este criterio se utilizó para evitar que se congelara el agua dentro de los caños de distribución. Los aspersores eran alimentados con aguas de pozos someros con una temperatura próxima a los 20 °C.

En uno de los invernáculos se incorporó un sistema de calefacción que utilizaba como fuente de energía el efluente

termal y el otro se utilizó de referencia. López et al. (2000) explican que al aplicar calor en la base del cultivo se aumenta la temperatura del suelo y la del invernáculo aprovechando el movimiento convectivo del aire. El elemento conductor del calor en este caso es el aire, que proporciona un aumento rápido de la temperatura, debido a su baja inercia térmica, y se enfría de igual forma cuando deja de actuar el sistema de calefacción. Teniendo en cuenta este último aspecto, se diseñó el sistema de calefacción de 6 tubos de PE de 16 mm de diámetro por 21 m de longitud por cantero, que fueron dispuestos sobre el suelo en torno a las líneas de cultivo y a través de los cuales se hizo circular agua a temperaturas de entre 30 y 40 °C, proveniente de efluentes termales del hotel Posta del Daymán.

En la Figura 1 se pueden visualizar los canteros N°3 correspondientes al invernáculo de tomate sin calefacción (ITSC) y al invernáculo de tomate con calefacción (ITCC), respectivamente.

En cada invernáculo se instalaron estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) modelo HOBO U30-NRC, de la firma Onset Computer Corp, con sensores de temperatura y humedad del aire a 0,5, 1,0 y 1,5 m, sobre un asta ubicada entre los canteros. Para el exterior se utilizaron los registros de temperatura y humedad del aire, velocidad del viento y radiación de una estación meteorológica automática con los sensores ubicados a 1,5 m de altura. Los registros se realizaron cada 10 minutos.

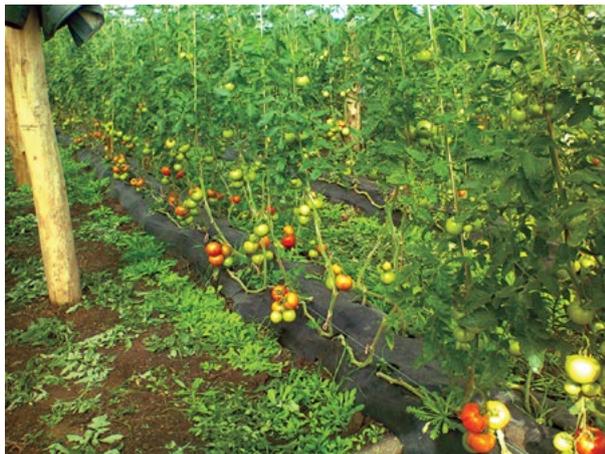


Figura 1. Cantero N° 3 del ITSC (arriba), y cantero N° 3 del ITCC (abajo).

Para el diseño del sistema se adoptó el procedimiento de cálculo publicado por Valera et al. (2008), en el cual se considera el mayor ahorro y eficiencia en la instalación de calefacción de invernáculos.

Partiendo de las necesidades térmicas del tomate se adoptaron los siguientes parámetros de diseño:

- Temperatura mínima interior: 12 °C
- Temperatura mínima exterior: 3 °C
- Renovación horaria de 0,75
- Caudal de agua termal: 3 m<sup>3</sup>/h
- Radiación incidente: 0 W/m<sup>2</sup>

Se adoptó como nula la radiación incidente debido a que el balance se efectuó para cada invernáculo durante la noche, o sea, en la condición más desfavorable.

Se realizó el balance energético para cada invernáculo, evaluado diariamente entre las 20 y las 8 hs, y se calculó el valor del flujo calórico perdido ( $Q_{per}$ ) cada 10 min a partir de los datos registrados por las EMAs, tanto para el ITCC como para el ITSC. En cada invernáculo se resolvió la Ecuación 1:

$$Q_{per} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evap} + Q_{sue} + Q_r \quad [Ec. 1]$$

Las direcciones de los diferentes flujos calóricos se observan en la Figura 2.

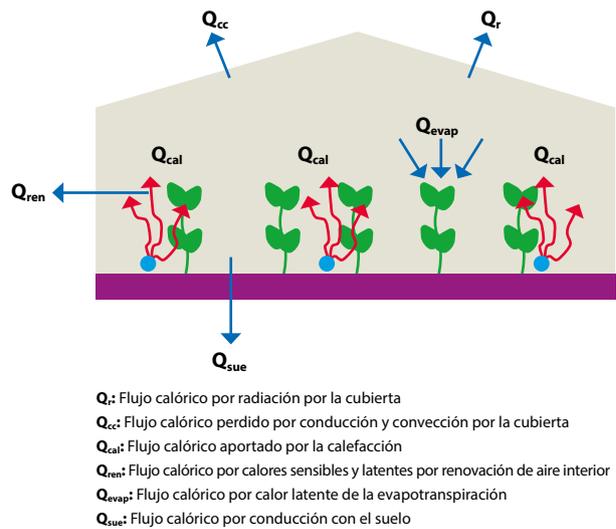


Figura 2. Flujos calóricos en un invernáculo (modificada de Varela, et al., 2008).

El flujo calórico por radiación de la cubierta se obtuvo a partir de la Ecuación 2.

$$Q_r = S_c \times \sigma \times \tau_{ter} \times [\epsilon_{atm} \times T_{atm}^4 - \epsilon_{ter} \times T_c^4] \quad [Ec. 2]$$

donde  $S_c$  es la superficie de suelo cubierta,  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman,  $\tau_{ter}$  es el coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación solar,  $\epsilon_{atm}$  es la emisividad de la atmósfera,  $T_{atm}$  corresponde a la temperatura de emisión de energía de la atmósfera,  $\epsilon_{ter}$  es la emisividad del material de cubierta para la radiación térmica y  $T_c$  es la temperatura absoluta de la cubierta.

El flujo calórico perdido por conducción y convección por la cubierta se obtuvo a partir de la Ecuación 3.

$$Q_{cc} = S_d \times K_{cc} \times (t_i - t_e) \quad [\text{Ec. 3}]$$

donde  $S_d$  es la superficie desarrollada de la cubierta del invernadero,  $K_{cc}$  es el coeficiente global de pérdidas de calor por conducción-convección,  $t_i$  la temperatura interior y la  $t_e$  corresponde a la temperatura exterior. Las temperaturas fueron expresadas en grados Celsius.

El flujo calórico por calores sensible y latente por renovación del aire interior se obtuvo a partir de la Ecuación 4.

$$Q_{ren} = V_{inv} \times R/3600 \times \rho \times [c_{pa} \times (t_i - t_e) + \lambda_o \times (x_i - x_e) + c_{pv} \times (x_i \times t_i - x_e \times t_e)] \quad [\text{Ec. 4}]$$

donde  $V_{inv}$  es el volumen del invernadero,  $R$  es la tasa de renovación de aire debido a la infiltración a través de la estructura,  $\rho$  es la densidad del aire,  $c_{pa}$  el calor específico del aire,  $\lambda_o$  es el calor latente de vaporización,  $x_i$  y  $x_e$  la humedad absoluta del interior y exterior, respectivamente, y  $c_{pv}$  es el calor específico del vapor recalentado. Las variables  $t_i$  y  $t_e$  fueron definidas con antelación.

El flujo calórico por calor latente de la evapotranspiración se despreció, pues el balance se realizó durante la noche. Durante las horas nocturnas la transpiración de las plantas es nula debido al cierre estomático, y la evaporación del suelo es ínfima debido a la cobertura de polietileno negro de 30  $\mu\text{m}$  de los canteros.

El flujo de calórico por conducción con el suelo se obtuvo a partir de la Ecuación 5.

$$Q_{sue} = K_s \times S_c \times (t_i - t_s)/p \quad [\text{Ec. 5}]$$

donde  $K_s$  es el coeficiente de intercambio térmico a través del suelo,  $t_s$  la temperatura del suelo del invernadero y  $p$  la profundidad a la que estima la diferencia de temperatura.

Las constantes expresadas en las fórmulas anteriores se extrajeron de la publicación de Valera et al. (2008).

La potencia, o flujo calórico suministrado por el sistema de calefacción al ITCC cada 10 min, se obtuvo resolviendo la Ecuación 6:

$$P = Q_{alm} + Q_{per\ ITCC} - Q_{per\ ITSC} \quad [\text{Ec. 6}]$$

donde:

- $P$ : Potencia suministrada por el sistema de calefacción al ITCC.
- $Q_{alm}$ : Flujo calórico almacenado por el aire del ITCC por aumento de temperatura del aire respecto del ITSC.
- $Q_{per\ ITCC}$ : Flujo calórico total perdido en el ITCC
- $Q_{per\ ITSC}$ : Flujo calórico total perdido en el ITSC

La energía mensual aportada al ITCC por el sistema de calefacción se obtuvo a partir de la Ecuación 7.

$$E = \sum P_i \times 10 \text{ min} \quad [\text{Ec. 7}]$$

donde  $P_i$  es la potencia instantánea calculada anteriormente.

Para el análisis de producción de tomate se utilizó el procedimiento Mixed del paquete del programa SAS®. El efecto

día de cosecha fue considerado como el factor de medidas repetidas. Se consideró la estructura de autocorrelación entre observaciones repetidas en un mismo cantero a través del tiempo, según un modelo autorregresivo de orden 1.

En el análisis no se tuvieron en cuenta el primer y el último cantero de cada invernáculo por el efecto borde.

## Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el balance energético calculado de abril a octubre de 2014, evaluado diariamente entre las 20 y las 8 hs. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de potencia aportada al ITCC.

Mes	Potencia kW	
	Máxima	Media
Abril	7,96	3,68
Mayo	9,83	2,72
Junio	11,23	5,94
Julio	9,06	5,65
Agosto	7,90	3,51
Setiembre	5,50	1,50
Octubre	3,80	0,79

**Tabla 1.** Potencias (máxima y media, kW) suministradas al ITCC para el periodo de abril a octubre de 2014.

El intercambiador de calor fue dimensionado para proveer al invernáculo la potencia máxima de 9,68 kW. Puede observarse que en junio la potencia de diseño fue excedida, lo que podría atribuirse a que el caudal circulante en ese momento superó el caudal de diseño.

En la Tabla 2 se presenta la energía mensual aportada durante el mismo período, la energía eléctrica equivalente que proporcionaría un equipo de calefacción eléctrico con un rendimiento de 0,95 y los litros de combustible (gasoil) necesarios si se utiliza un quemador con rendimiento igual a 0,60.

Mes	Energía provista	Energía eléctrica	Litros de gasoil
Abril	1147,10	1207,47	165,77
Mayo	945,48	995,24	136,63
Junio	2137,00	2249,47	308,82
Julio	2049,20	2157,05	296,13
Agosto	1010,70	1063,89	146,05
Setiembre	540,86	569,33	78,16
Octubre	243,32	256,13	35,16

**Tabla 2.** Energía (kWh) suministradas al ITCC, equivalente eléctrico y litros de gasoil ahorrados.

En la Tabla 3 se presenta la cantidad de horas por mes en las que se registraron temperaturas en cada invernáculo iguales o inferiores a 10 °C (umbral seleccionado por el efecto depresivo sobre la floración) para cada año de ensayo (de Souza, et al., 2014).

Mes	Cantidad de horas		% de horas del mes	
	ITSC	ITCC	ITSC	ITCC
Abril	64,8	7,2	8,7	1,0
Mayo	101,3	45,6	13,6	6,1
Junio	213,6	88,0	28,7	11,8
Julio	200,2	118,8	26,9	15,9
Agosto	159,2	106,8	21,4	14,3
Setiembre	51,0	35,2	6,8	4,7

**Tabla 3.** Horas con temperatura igual o inferior a 10 °C para cada mes de evaluación del cultivo en 2014.

Como se puede observar, el invernáculo calefaccionado siempre tuvo menos horas con temperaturas por debajo del umbral seleccionado.

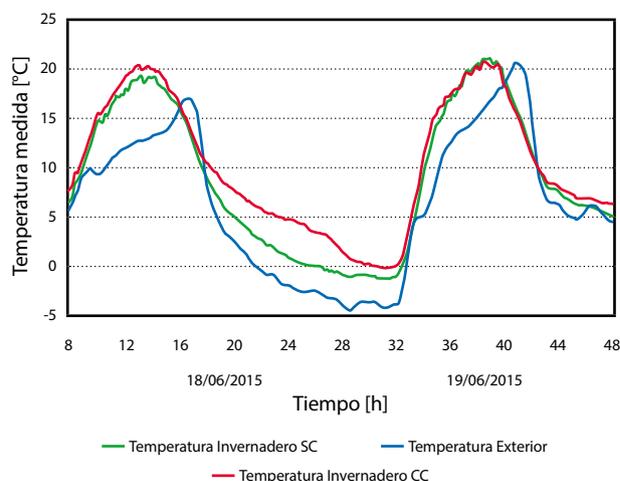
## Producción

La producción de tomate se separó por categorías según el diámetro de cada fruto: especial ( $\varnothing > 9$  cm), primera ( $\varnothing > 8$  cm), segunda ( $\varnothing > 7$  cm) y tercera ( $\varnothing > 6,5$  cm). Se registró en cada cosecha el peso (kg) total de cada cantero por categoría en el periodo que abarca de junio a octubre. De acuerdo a los resultados, en el primer mes se constataron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ). En dicho mes la productividad fue superior en ITCC respecto a ITSC (3,3kg /m<sup>2</sup> vs 1,2 kg /m<sup>2</sup>), lo que evidencia una mayor precocidad en el invernáculo calefaccionado. Vale destacar que las diferencias entre los tratamientos, a favor del ITCC, se dieron en las categorías primera y segunda, que tienen mayor valor comercial. Esto demostraría la precocidad producida por el efecto de la calefacción, resultado que coincide con la bibliografía (Sainato, et al, 1999). La precocidad evidenciada en ITCC con respecto a ITSC podría deberse, además de a la energía aportada, a la menor cantidad de horas que estuvo cada cultivo por debajo de 10 °C, temperatura que, según Benacchio (1982), puede ser considerada como la que tiene influencia en la viabilidad de las flores.

## La calefacción como atenuante del efecto de heladas sobre el cultivo

Luego de concluido el proyecto, en 2015 se continuó con la investigación, pues se contaba con la infraestructura para llevarla a cabo. Ese año, al igual que en los anteriores, se instalaron sobre los invernáculos aspersores para combatir las heladas. Durante un evento de helada registrado en la madrugada del 19 de junio, el automatismo que accionaba la bomba para que se activaran los aspersores no funcionó, lo que ocasionó daños importantes en el ITSC. El 85 % de las plantas del ITSC se vieron afectadas, mientras que en el ITCC solo se vieron afectadas las plantas que se encontraban en los bordes. En la

Figura 3 se observan los daños producidos sobre las plantas del ITSC y el estado de las plantas del ITCC. Las fotografías fueron tomadas la semana siguiente al evento. Se entiende que el daño sobre las plantas fue atenuado en el ITCC debido a que la temperatura interna registrada en su interior siempre se encontró por encima de 0 °C (Gráfico 1). A pesar de que la diferencia de temperatura interna entre los dos invernáculos fue mínima cuando se registraron las temperaturas más bajas, fue suficiente para que en el ITCC no se produjeran mayores problemas con el cuajado de los frutos, a diferencia de lo que sucedió en el ITSC, donde se perdió prácticamente por completo la floración. Estas diferencias tuvieron consecuencias importantes sobre la producción en las siguientes semanas.



**Gráfico 1.** Registro de temperatura exterior e interior a los ITSC e ITCC durante la helada del 19/06/2015.



**Figura 3.** Plantas con daño visible (ITSC) (arriba) y plantas sin daño visible (ITCC) (abajo).

## Discusión

En primer lugar, la ejecución del proyecto «Utilización de la energía geotérmica para calefacción de invernáculos» permitió completar una investigación en la temática de usos directos de la geotermia de baja entalpía en Uruguay.

En segundo lugar, se observó un incremento en calidad y cantidad en la producción de tomates en el ITCC respecto del ITSC tradicional, pese a lo reducido que fue el período de investigación.

El reuso del recurso geotermal contribuye a la disminución del impacto ambiental generado por este antes de su volcado, pues se reduce su temperatura.

El proyecto permitió dilucidar la oportunidad de una acción que se viene esbozando como atenuante en el control de heladas y como seguro aporte al incremento de producción fuera de estación de especies agrícolas, extensible a especies florales.

## Reconocimientos

A la Agencia Nacional de Investigación e Innovación, convocatoria del Fondo Sectorial Energía (2011) FSE\_1\_2011\_1\_6148, por aprobar y apoyar financieramente la investigación. Asimismo, a la Fundación Universitaria Regional norte, al Pbro. José María García Gerolami, a los Sres. Miguel Burgos, Amaro Flores, Stella Maris Errecart, Jovana Vilches, Sixto Moneta y Eduardo Tenca, por haber permitido, colaborado y acompañado el desarrollo de la investigación.

## Referencias

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements* [En línea]. Roma: FAO. (FAO Irrigation and Drainage paper, 56). [Consulta: marzo de 2013]. Disponible en: [http://www.academia.edu/download/40878584/Allen\\_FAO1998.pdf](http://www.academia.edu/download/40878584/Allen_FAO1998.pdf)

Barboza R., 2008. *El sector hortícola del litoral norte uruguayo: oportunidades y desafíos*. Montevideo: Cooperación Unión Europea-Uruguay, Ministerio de Industria, Energía y Minería.

Benacchio, S., 1982. *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el Trópico Americano*. Maracay: FONAIAP-CNIA.

Bossi, J., Caggiano, A. y Oliveira, R., 2011. *Manual didáctico de Geología para estudiantes de Agronomía* [En línea]. Montevideo: Universidad de la República. ISBN: 978-9974-0-0763-5. [Consulta: 30 de junio de 2014]. Disponible

en: [http://www.cse.edu.uy/sites/www.cse.edu.uy/files/documentos/CSE-Fagro\\_Caggiano\\_2011-06-29-lowres.pdf](http://www.cse.edu.uy/sites/www.cse.edu.uy/files/documentos/CSE-Fagro_Caggiano_2011-06-29-lowres.pdf).

Calvert, A., 1966. Requerimientos de temperatura en plantas jóvenes de tomate. En: *Horticultura*, 4, pp.12-17.

de Souza, R., Saravia, C., Ramos, J., Blanco, N., Bentancur, O., de los Santos, J., Cánepa, P. y Ferreira, A., 2014.

Utilización de la energía geotérmica para calefacción de invernaderos de tomate (*Lycopersicum Esculentum*, Mill.). Resultados Preliminares. En: Asociación Argentina de Agrometeorología. *Resúmenes de la I reunión binacional Uruguay- Argentina de agrometeorología*. Piriápolis: A.A.D.A. pp.109-110. ISBN: 978-987-688-082-4.

Cernuschi, F., 2014. Energía geotérmica: potenciales aplicaciones para la diversificación de la matriz energética de Uruguay. En: *Revista SUG*, 19, pp.1-14.

FAO, 2004. *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía* [En línea]. Vol 1. Roma: FAO. [Consulta: 13 de julio de 2017]. Disponible en: [www.fao.org/3/a-y7223s.pdf](http://www.fao.org/3/a-y7223s.pdf)

Iriarte, A., Bistoni, S. y Saravia, L., 2002. Modelo de predicción del comportamiento de colectores solares plásticos para calentamiento de sustratos en invernaderos. En: *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6, pp.37-42, ISSN 0329-5184. [Consulta: marzo de 2013]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t002-a007.pdf>

Kalma, J.D., Laughlin, G.P., Caprio, J.M. y Hamer, P.J.C., 1992. *The bioclimatology of frost: its occurrence, impact and protection*. Berlín: Springer-Verlag. (Advances in Bioclimatology, 2).

López, J., Lorenzo, P., Medrano, E., Sánchez-Guerrero, M., Pérez, J., Puerto, H. y Arco, M., 2000. *Calefacción de invernaderos en el sudeste español. Resultados*. Almería: Caja Rural de Almería.

Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección de Estadísticas Agropecuarias, 2013. *Anuario estadístico agropecuario 2013* [En línea]. Montevideo: MGAP. [Consulta: 10 de agosto de 2014]. Disponible en: [http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/Anuario2013/DIEA\\_Anuario\\_2013.pdf](http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/Anuario2013/DIEA_Anuario_2013.pdf)

Otero, A., 1982. *Empleo de fitorreguladores en la inducción del cuajado del tomate*. Montevideo: [s.n.]. (Tesis de grado).

Sainato, C., Landini, A., Landini, M., Mascarini, L. y Bottini, L., 1999. Requerimientos de calefacción de cultivos en invernadero de tomate y pimiento en distintas zonas de La Pampa húmeda, Argentina. En: *Agricultura Técnica CHILE*, 59(1), pp.55-66.

Snyder, R.L., Paw, U.K.T. y Thompson, J.F., 1987. *Passive frost protection of trees and vines*. California: University of California. (Leaflet, 21429).

Valera, D., Molina, F. y Álvarez, A., 2008. *Ahorro y eficiencia energética en invernaderos*. Madrid: UDA-CENER.