

COMPORTAMIENTO EN INVIERNO Y PRIMAVERA DEL SUELO DE UN INVERNADERO CON AISLACIÓN TÉRMICA PERIMETRAL EN ZONA BIOCLIMÁTICA VI

Alejandro D. González^{1,2}

¹Centro Transdisciplinario de Estudios Ambientales y Desarrollo Humano Sostenible, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

² INIBIOMA, CCT-Comahue, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
E-mail: gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

Recibido 16/08/13, Aceptado 30/09/13

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es profundizar el estudio previo sobre las ventajas de la aislación térmica perimetral en un invernadero en zona de clima muy frío. Se estudió experimentalmente el comportamiento del suelo de un invernadero al cual se rehabilitó térmicamente el perímetro, incluyendo extensión de vereda. Se midieron las temperaturas en el aire interior y exterior, y las temperaturas en el suelo del invernadero y exterior durante cuatro meses en otoño e invierno, y dos meses al comienzo de la primavera. La temperatura promedio del suelo dentro del invernadero supera en más de 5 °C a la temperatura del suelo en el exterior, tanto en invierno como en primavera, y en más de 7°C en los días de frío extremo. Se concluye que la aislación perimetral de un invernadero en zona muy fría permite extender la temporada de cultivo, y puede resultar en beneficio económico.

Palabras clave: Invernadero, Aislamiento perimetral, Producción hortícola, Patagonia Andina

INTRODUCCIÓN

En la zona bioclimática VI, la más fría en la normativa IRAM, los invernaderos para producción agrícola hacen posible el cultivo de hortalizas y hierbas. En zonas de alta nubosidad y baja temperatura, los invernaderos pueden ser útiles sólo si se dispone de calefacción. Sin embargo, existen amplias regiones en la Patagonia Andina en donde el asoleamiento es adecuado para el calentamiento solar pasivo. Este es el caso de la región de la Patagonia Andina que incluye a las ciudades de Bariloche, El Bolsón y Esquel. En trabajos previos, se estudió un invernadero adosado a una vivienda del periurbano de Bariloche, tanto en el aspecto agrícola (González, 2012a), como en la posibilidad de aporte de calor (González, 2012b). En esta ciudad las condiciones climáticas promedio son: temperatura media anual 8°C, 3600 grado-día de necesidad de calefacción, y viento promedio mensual 20-29 km/h (SMN, 2013). A pesar de estas condiciones muy desfavorables, el asoleamiento es suficiente para que en invernaderos se produzcan tomates y otras variedades propias de clima cálido. El uso de un invernadero en la zona permite también extender la temporada hacia el otoño y acelerar el cultivo en primavera. Estas son las etapas en donde es importante la protección del cultivo, ya que en verano el asoleamiento es muy alto (Grossi Gallegos y Righini, 2007). Durante 2 a 3 meses las condiciones son aptas para el desarrollo a cielo abierto. Sin embargo, como veremos, debido a que la temperatura promedio desciende rápidamente a partir del mes de marzo, las condiciones para el cultivo durante la primavera son muy importantes. Si no existe un desarrollo adecuado en primavera, durante el verano no se alcanza la maduración de frutos y hojas en las variedades de hortalizas habitualmente consumidas. Existen plantas adaptadas al clima (variedades de coles acéfalas) que sobreviven a las heladas, pero representan sólo una parte de la necesidad de cultivo local. Para que el cultivo esté avanzado en primavera, y aprovechar el calor de un verano corto, es necesario controlar la temperatura del suelo.

En la mayoría de los casos, los invernaderos no cuentan con barreras que bloqueen los puentes térmicos de las bases, ya sea en paredes perimetrales o a través del suelo. Cuando se tiene una edificación, los cambios en la temperatura del suelo cubierto son moderados por la transferencia de calor con la tierra más profunda, cuya temperatura entre 1 m y 2 m de profundidad se considera aproximadamente igual a la media del lugar (Flores Larsen, 2011). Las capas de suelo superficiales, hasta cerca de 0,20 m de profundidad, son afectadas por la radiación solar y la convección y conducción producto de la temperatura del aire. En zona muy fría, el suelo exterior puede congelarse y alcanzar temperaturas por debajo de 0°C, y con heladas y bajas temperaturas persistentes el congelamiento alcanza distintas profundidades en el suelo. Por ejemplo, en la Patagonia Andina, zona bioclimática VI, es habitual que el suelo descubierto se congele hasta los 0,20-0,40 cm de profundidad. Es entonces en el perímetro que lo separa del exterior en donde el suelo del invernadero presenta la mayor transferencia de calor por conducción con la fuente fría externa. La geometría del invernadero también determina el grado de influencia de este mecanismo, y dependerá de la forma y relación de perímetro y superficie. Los invernaderos más usuales son de forma rectangular con el lado menor limitado en tamaño a la disponibilidad de plásticos de cerramiento. En estos casos, por ejemplo de rectángulos de 3 m a 5 m de ancho, la transferencia perimetral en zona fría puede ser significativa. Debido a las condiciones climáticas, además del asoleamiento del suelo, la vegetación, y las variaciones en vientos, la determinación de las variables a considerar en un estudio teórico es complejo y este aspecto de suelos ha sido muy poco estudiado, tanto para invernaderos como para edificios (Flores Larsen, 2011).

La producción agrícola local puede tener ventajas ambientales importantes por la menor necesidad de transporte y logística. En trabajos previos se mostró que la contribución a la energía y gases de efecto invernadero en producciones locales de trigo es mucho menor a la producción en la Pampa Húmeda y transportada a la Patagonia Andina (González et al., 2011;

González, 2010). En esta zona existen producciones tradicionales de cereales que tuvieron mucha importancia regional en la década de 1940. Las condiciones de suelo y clima en los valles cordilleranos son excelentes para cereales de calidad y con mínimo uso de agroquímicos. Los trigos locales obtuvieron premios internacionales, y en la década de 1940 la producción de trigo llegó a ser tan alta que se constituyeron molinos de harina y fábricas de pastas regionales. Esa experiencia se vio afectada por una disposición gubernamental que en 1949 estableció que los cereales debían sembrarse al norte del Río Colorado, es decir fuera de la Patagonia, y excluyó de esta zona el beneficio de subsidios y promociones a la producción. La actividad cerealera fue disminuyendo dada la competencia a precios subsidiados desde la Pampa Húmeda, y actualmente es importante sólo en el rubro de producción orgánica. La zona es apta también para cultivos de ajo, cebolla, papa, arveja, habas, y variedades de manzanas, frutillas, y otras frutas finas. En la última década, la promoción y apoyo del INTA a las huertas familiares y de producción local dieron resultados notables, ampliando las posibilidades para las huertas locales de vender sus productos en mercados de la región (Madariaga et al., 2009). En las tres ciudades mencionadas se observa un aumento de los mercados locales y de interés del consumidor en producción agrícola local.

Por lo mencionado, los invernaderos son muy importantes en la producción agrícola en zona fría. Existe vasta experiencia en el estudio de invernaderos en la zona Andina del NO de Argentina (García et al., 2004; Echazú et al., 2004; Iriarte et al., 2001). Esa región dispone de mayor asoleamiento que la región en estudio en este trabajo, y las ganancias solares en el suelo moderan las bajas temperaturas que pueden afectar al perímetro, por lo cual este no fue un aspecto de estudio en investigaciones en esas regiones. En el presente trabajo profundizamos el estudio anterior (González, 2012a) de un invernadero adosado en zona bioclimática VI en el cual se ha realizado una rehabilitación térmica en el perímetro y vereda perimetral. Además, se incorpora un análisis de costos como base para evaluar posibles beneficios debidos al aumento de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características constructivas

El invernadero estudiado tiene orientación norte, y está adosado a la vivienda. La pared de la vivienda, de ladrillo cerámico, tiene aislamiento térmico de 6 cm en el exterior y revestimiento, y en el interior cámara de aire y placa de yeso, con lo cual la transmitancia total del muro es de $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Cricyt, 2013). La base de la envolvente de la vivienda es un encadenado perimetral que también se encuentra aislado térmicamente del suelo del invernadero con 5 cm de poliestireno expandido. Las aberturas de la vivienda hacia el invernadero tienen vidrio y cámara de aire. Por lo tanto, la transferencia de calor entre la casa y el invernadero está limitada. Este invernadero no ha sido adosado con fines de aporte a la calefacción de la vivienda, como en otros casos (Ganem y Esteves, 2001). En un trabajo previo se ha observado que debido a las condiciones de viento y temperaturas muy bajas, así como también a un asoleamiento bajo en el período invernal, la temperatura media en el aire del invernadero es menor a la temperatura de la vivienda desde abril hasta noviembre. Entonces, promediando en 24 horas y en meses con clima frío el resultado sería una transferencia desde la casa al invernadero. Existen períodos de mayor temperatura media en el invernadero que en la vivienda, pero esta situación corresponde al verano, en el cual no hace falta aporte de calor a la vivienda. Por lo tanto, no se dan las condiciones para aporte de calor a la vivienda en el invernadero adosado en el caso en estudio, y la aislación térmica de la envolvente evita la pérdida de calor en la vivienda (González, 2012b).

En un trabajo previo, se mostraron los detalles de la rehabilitación térmica del perímetro del invernadero (González, 2012a). Las dimensiones de la zona de cultivo son: largo 11,30 en la dirección O-E, ancho 2,70 m en la dirección S-N, alto máximo en media agua 2,80 m, alto mínimo 2,20 m. El techo está cubierto de chapa sinusoidal de fibra de vidrio. Los laterales norte y este están completamente vidriados (Figura 1), y el oeste cerrado con chapa de fibra de vidrio (Figura 2). Las aberturas apoyan en una pared de 0,80 m de altura, de ladrillo macizo de 0,12 m de espesor.

La rehabilitación térmica consistió en el revestimiento de la pared externa con poliestireno expandido de 6 cm, barrera de humedad de Ruberoi y cobertura de placa cementicia tipo siding. En las Figuras 1 y 2 se observan los detalles de la pared y la vereda perimetral también rehabilitada térmicamente. El revestimiento aislante de la pared se realizó hasta 30 cm por debajo del suelo removiendo la vereda perimetral externa al invernadero. Se colocó entonces una capa de material aislante piedra pómez de 15 cm de espesor en la vereda perimetral norte y este, y con continuidad con el aislante de la pared. En la vereda oeste se utilizó poliestireno expandido de 5 cm en lugar de piedra pómez, también evitando el puente térmico en la unión con la pared. Estas etapas no son visibles en las Figuras 1 y 2, pero se explicó en el trabajo previo (González, 2012a). La piedra pómez procede de la costa del lago Nahuel Huapi, fue arrastrada por corrientes en el agua cuando se depositó en 2011 con la erupción del volcán Puyehue. La conductividad de la piedra pómez seca es de $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ y con 15% de humedad $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Gutiérrez y González, 2012).

En la línea inferior del revestimiento siding se fijó un polietileno de 150 μm de espesor que se extendió horizontalmente como cobertura de la piedra pómez en la vereda perimetral. El polietileno no es visible en las figuras, pero fue mostrado en el trabajo previo. La vereda tiene 0,80 m de ancho en la parte norte (pared de 11,3 m orientación O-E), y 1 m de ancho en las otras orientaciones. Luego, para finalizarla se cubrió con una capa de tierra de 0,15 m de espesor que cubre y protege el polietileno. De esta manera, se tiene la pared aislada con continuidad con la vereda que también está aislada térmicamente e hidrófugamente. El enfriamiento del perímetro del invernadero puede producirse a través de la tierra fría perimetral y de la pared, y se buscó evitar estas dos transferencias eliminando los puentes térmicos. El polietileno sobre la piedra pómez se coloca para mantener seca la tierra debajo de la vereda, y de esta forma con menor conductividad térmica. La tierra debajo de la vereda puede humedecerse por difusión pero se mantendrá relativamente seca con respecto a la situación de exposición directa a las precipitaciones. Uno de los objetivos de la rehabilitación es desplazar lo más posible hacia fuera la línea de piso frío y húmedo que puede afectar la temperatura del suelo del invernadero. Esta rehabilitación térmica de vereda se realizó

alrededor de toda la vivienda, pero sólo afectan al invernadero la vereda norte, y parcialmente las situadas en el este y el oeste.

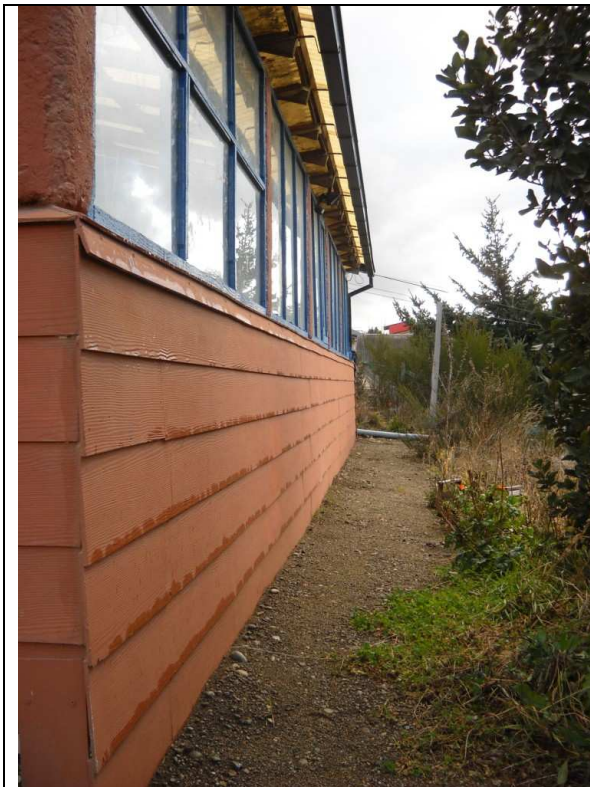


Figura 1: pared y vereda norte del invernáculo



Figura 2: pared y vereda oeste del invernáculo

Se utilizaron Datalogger TDL 2048, fabricados en el CAB-IB de la Universidad Nacional de Cuyo en Bariloche, de rango -40°C a 85°C, con apreciación mínima de 0,5°C; los cuales fueron utilizados previamente (González y Crivelli, 2008). se midió la temperatura en 4 puntos: 1) el aire del invernadero a 10 cm sobre el suelo y dentro de una caja de cartón; 2) el suelo del invernadero, a 0,15 m de profundidad y a 1 m en dirección sur desde el interior de la cara norte; 3) el suelo en el exterior también a 0,15 m de profundidad y a 1 m hacia el norte desde la envolvente del invernadero; y 4) el aire exterior a 5 cm y cubierto del sol y la lluvia.

Clima en la zona de estudio

La Figura 3 muestra las zonas bioclimáticas de la República Argentina, según la Norma IRAM 11603 (IRAM, 1996). Se muestra la ubicación geográfica de las tres ciudades principales de la región de validez del presente estudio.

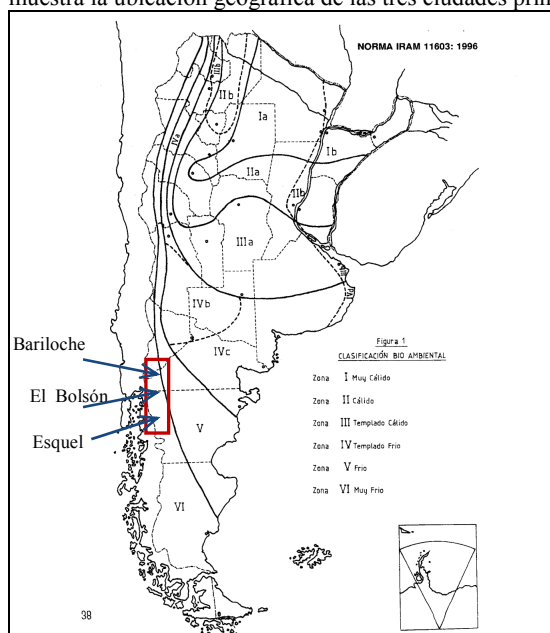


Figura 3: Clasificación Bioambiental de Argentina (IRAM, 1996)

La Figura 4 resume los valores de la temperatura media mensual correspondiente al período 1981-1990, de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2013), y los valores de radiación solar diaria promedio mensual (kWh/m²día) de acuerdo a los datos del Atlas Solar de la República Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007).

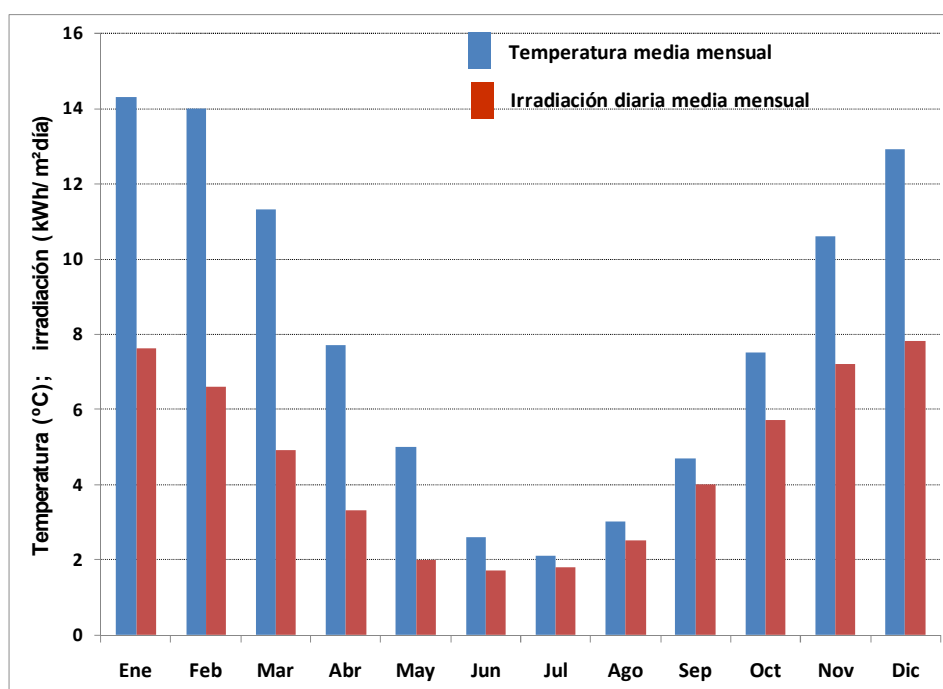


Figura 4: Temperatura media mensual y radiación solar diaria promedio mensual en la ciudad de Bariloche

La irradiación solar es muy alta en noviembre, diciembre y enero, alcanzando promedios mensuales de entre 7,2 y 7,8 kWh/m²día, lo cual es similar a la radiación máxima disponible en el NO Argentino (Grossi Gallegos y Righini, 2007). En los 6 meses de abril a septiembre la radiación solar es baja. Estos son los meses de mayor nubosidad, menores temperaturas, y son los que más influyen en la extensión de la temporada de cultivo, tanto en la cosecha tardía de otoño como en la siembra temprana de primavera.

Las temperaturas medias mensuales son muy bajas en la zona, se tiene: 5 meses con temperaturas medias debajo de 5°C; 2 meses con medias mensuales de 7,5°C; y 5 meses entre 10 °C y 14 °C. Como se hizo notar en trabajos anteriores, el período invernal puede considerarse de al menos 6 meses en el lugar de estudio. La temperatura de 8°C es la base para el cálculo del tiempo termal de hortalizas de clima frío, el cual es el número de grado-día diarios acumulados para el crecimiento, y una temperatura mínima de 8°C se considera el límite para el desarrollo vegetal para las hortalizas de temporada fría comunes en Bariloche (Jeavons, 1991). Como veremos más abajo en las presentes mediciones de promedios diarios de temperatura, el valor de 8°C se supera en el aire exterior a mediados del mes de octubre, y en el suelo exterior a finales de septiembre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Período de otoño e invierno

Este período es importante porque la mejora puede beneficiar en dos aspectos: la extensión de la cosecha de verano; y la posibilidad de comenzar en mejores condiciones con trasplante de plantines de variedades invernales. Para evaluar los efectos de la rehabilitación térmica se midió la temperatura en el aire y el suelo, en el período de abril hasta agosto de 2013. En la Figura 5 se muestran los resultados: en celeste, aire del invernadero; en rojo, suelo del invernadero; en marrón, suelo exterior; y en azul oscuro, aire exterior. Las líneas son los ajustes lineales de los datos, que representan la temperatura media en cada caso. Las fluctuaciones entre las temperaturas en el día y en la noche son menores, como veremos, que para el período de primavera, y son menores en el caso del suelo exterior que en el suelo del invernadero. Las oscilaciones de menor frecuencia corresponden a las variaciones de temperatura ambiente y radiación solar, que afectan la evolución de la temperatura del aire del invernadero.

Conforme disminuye la temperatura ambiente, el suelo del invernadero presenta un comportamiento distintivo del suelo externo. Más abajo se verá la diferencia con la configuración sin aislamiento térmico. A comienzo de abril la diferencia entre el suelo interior y exterior fue de 3,5 °C, pero a comienzo de agosto fue de 6,5 °C. La pendiente correspondiente al suelo exterior es mayor a la de la temperatura del aire exterior (mayor disminución relativa), no así la correspondiente al suelo interior, el cual presenta una pendiente menor a la del aire interior y a la del suelo exterior. A partir del 4/7/2013 el Datalogger correspondiente a la temperatura del aire del invernadero no registró. Esto no será relevante en el análisis que se realiza más abajo.

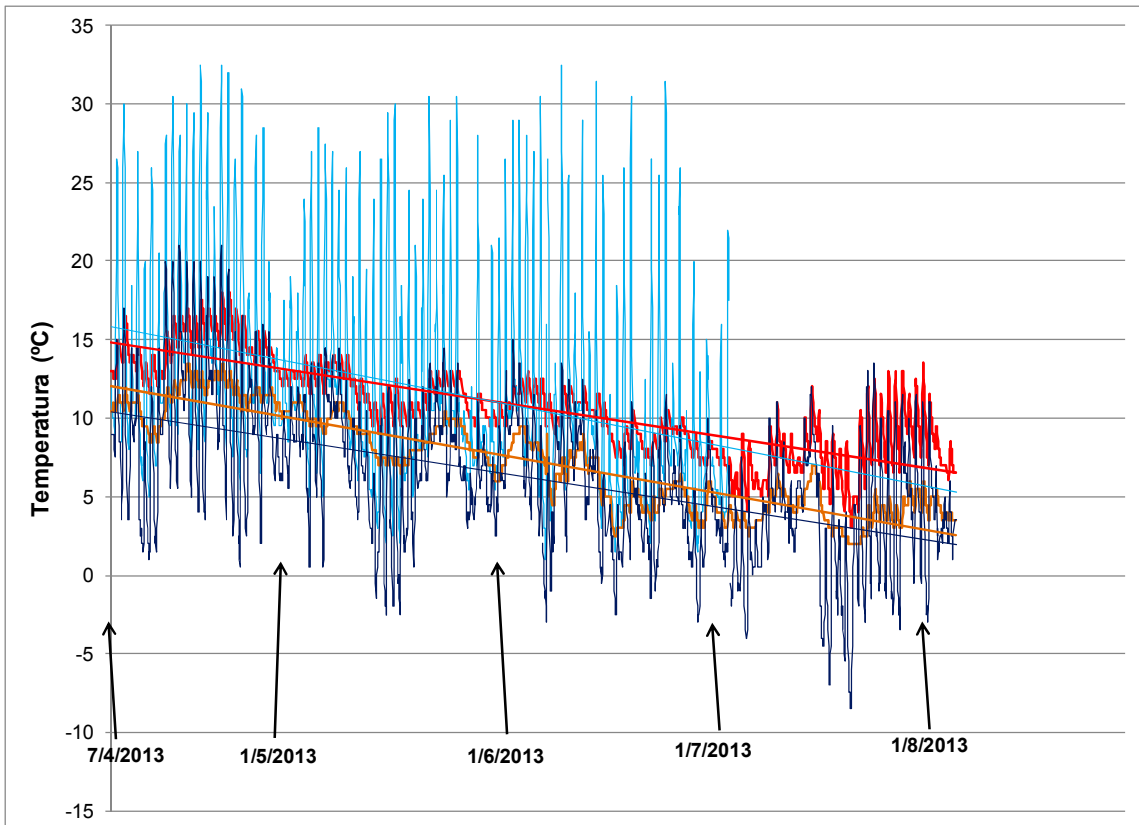


Figura 5: Temperatura en función del tiempo para otoño e invierno de 2013. En color celeste, la temperatura del aire del invernadero; en rojo, suelo del invernadero; en marrón, suelo exterior; en azul oscuro, aire exterior.

En la Figura 6, se normalizó la temperatura de los suelos con respecto a la temperatura exterior. Es notable la constancia de la temperatura del suelo del invernadero con respecto al aire exterior, no así en el suelo exterior.

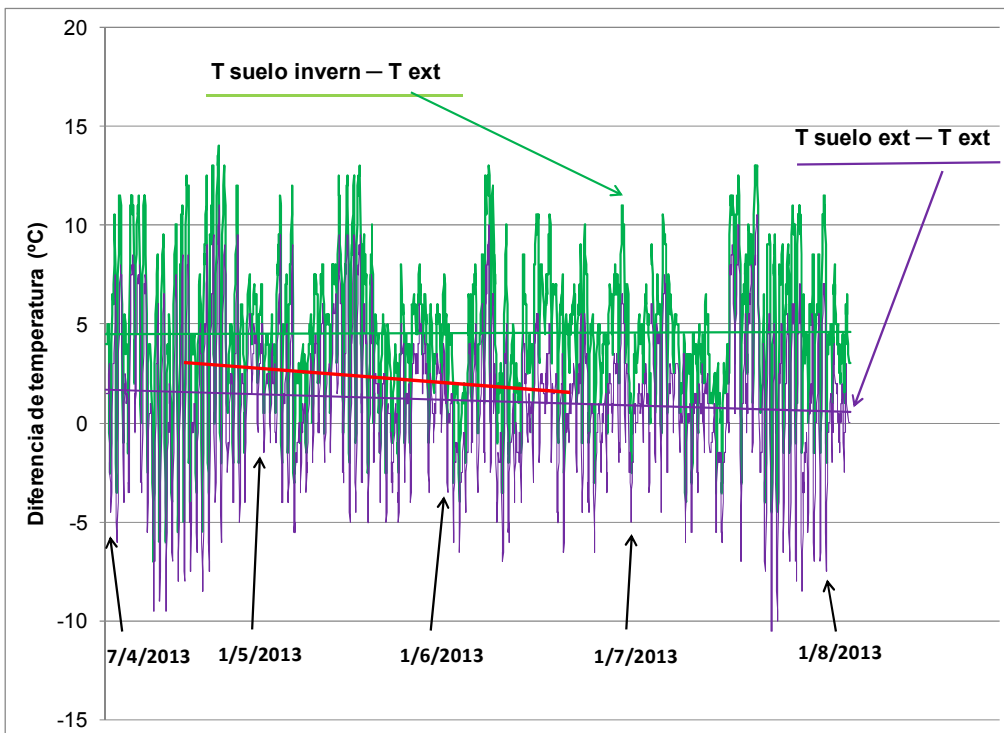


Figura 6: Diferencia de temperatura entre el suelo interior y exterior con el aire exterior. En línea roja se indica la diferencia para el suelo del invernadero sin aislamiento perimetral, medida en abril-junio de 2012

En línea roja, se muestra en la Figura 6 la diferencia de la temperatura del suelo del invernadero y del aire exterior en las mediciones realizadas en 2011 con anterioridad a la implementación del aislamiento perimetral (González, 2012a). Si bien las

condiciones climáticas fueron distintas en 2011 y 2013, las diferencias normalizadas al aire exterior muestran claramente la ventaja de la rehabilitación térmica, no solamente en la magnitud de la temperatura sino en la tendencia conforme disminuye la temperatura ambiente en invierno. En la Figura 6 el suelo del invernadero sin aislamiento perimetral sigue la misma tendencia en función del tiempo que el suelo exterior. La diferencia de temperatura es muy importante para la manutención de plantas en invierno, que con buen enraizamiento tendrán una producción temprana en primavera. Este es el caso de las acelgas, espinaca, y coles, que se trasplantan en invernadero en otoño con esa finalidad. También debido a la mayor temperatura del suelo, se acumula más calor en el invernadero para los mínimos fríos. Cualitativamente, esto permitió obtener plantas de tomate con fruto y hoja verde hasta mediados del mes de junio tanto en 2012 como en 2013, y aloe vera, acelgas y malvas en muy buen estado vegetativo a lo largo del invierno, a pesar de que no son variedades adaptadas a clima muy frío.

Período de fines de invierno y primavera

Como se mencionó, este es el período más importante para el desarrollo de plántines y trasplantes a tierra. En un trabajo anterior, se mostró que antes de las mejoras térmicas el suelo del invernadero presentaba baja temperatura en el inicio de la primavera (González, 2012a). Aun cuando el aire del invernadero tenga una temperatura adecuada, y aun alta, si el suelo se encuentra por debajo de 10°C el crecimiento es lento o no ocurre. En la Figura 7 se muestra la medición de temperaturas del aire del invernadero (azul claro), del suelo del invernadero (rojo), del suelo exterior (marrón), y del aire exterior (azul oscuro), entre el 1/9/2012 y el 22/10/2012. Las rectas representan en cada caso la temperatura media resultante de la interpolación lineal. La temperatura del aire del invernadero presenta grandes fluctuaciones entre las diurnas con irradiación solar y las nocturnas, así como también se refleja en la temperatura del aire el efecto de los días con nubosidad.

Las temperaturas medias del aire y del suelo del invernadero son similares en este período, siendo la del suelo algo más elevada hasta alrededor del 10 de septiembre, cuando la temperatura media del aire del invernadero supera ligeramente a la del suelo, y ambas se ubican por encima de los 12,4 °C, hasta alcanzar temperaturas medias por encima de los 15°C al 22/10/2012. Nótese que la temperatura del suelo en el invernadero es mayor a 12 °C el 1^o de septiembre. Esta temperatura es apta para el crecimiento de enraizamiento y trasplantes de hortalizas. Bien diferenciados con temperaturas notablemente más bajas se encuentran el suelo exterior (6,5 °C) y el aire exterior (6 °C). Las mediciones mostradas en el presente trabajo evidencian las ventajas de la aislación perimetral en el período de crecimiento vegetal. Nótese que se demora hasta el 10 de octubre para alcanzar 10°C en promedio en el suelo exterior. La amplitud térmica en el suelo del invernadero es de alrededor de 6 °C, y en el suelo exterior de 3 °C.

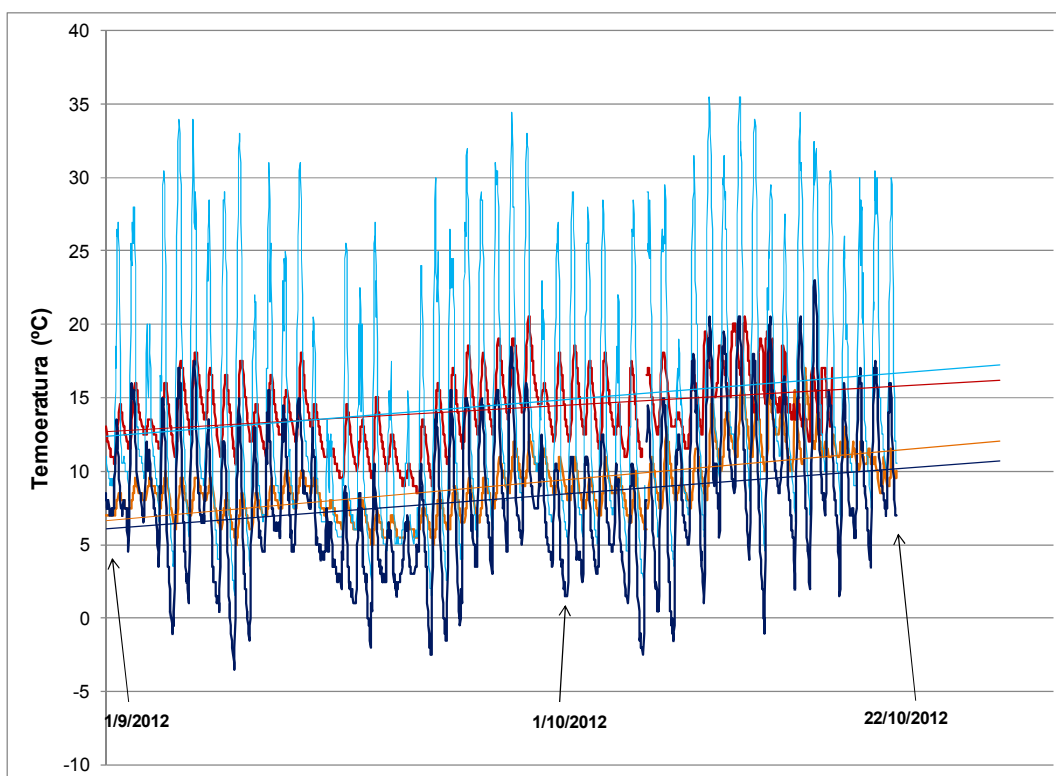


Figura 7: Temperaturas en función del tiempo para septiembre 2012 y octubre de 2012. En azul claro, aire del invernadero; en rojo, suelo del invernadero; en marrón, suelo exterior; y en azul oscuro aire exterior. Las rectas indican los ajustes lineales.

Al 1/9/2012 el suelo del invernadero se encontró a 6,1°C por encima del suelo exterior. La diferencia de temperatura entre el suelo del invernadero y el aire exterior es de 6,6°C a lo largo del período mostrado en la Figura 7. Este comportamiento es muy distinto del observado cuando no se contaba con la aislación térmica perimetral, como se mostró en la comparación en la Figura 6. Puede observarse en la Figura 7 que en los 4 días desde el 19/10 hasta el 22/10 el datalogger correspondiente al

suelo del invernadero no registró. Esto no afecta la comparación presentada en este gráfico. Es interesante notar que los máximos y mínimos diarios de la temperatura del suelo del invernadero tienen una amplitud mayor que en el suelo exterior. Esto no parece estar relacionado tanto con la aislación térmica perimetral sino con el balance entre la ganancia solar y las pérdidas al aire del suelo superficial. En el interior del invernadero la temperatura del aire es más alta y no existe la convección del viento. En los meses de septiembre y octubre el promedio mensual de viento es de 23 km/h y 25 km/h, respectivamente. Por otro lado, la diferencia entre la temperatura media del suelo del invernadero y el suelo exterior disminuye a medida que aumenta la temperatura exterior. En el trabajo previo (González, 2012a) se mostró que a finales de diciembre la temperatura del suelo exterior comienza a ser mayor que la del suelo del invernadero, como consecuencia de la mayor irradiación solar exterior y la menor pérdida de calor del suelo debido a la mayor temperatura en verano. Entre los meses de diciembre y marzo el suelo exterior se comporta igual o mejor que el suelo del invernadero, aun con la aislación térmica. Es en los meses fríos en donde se obtienen claras ventajas, y esto comprende un período entre 8 y 9 meses por año.

Para normalizar las temperaturas del suelo interno y externo y poder compararlas, se tomaron las diferencias con el aire exterior. En la Figura 8 se muestran las diferencias de temperatura del suelo del invernadero y del suelo exterior con respecto a la temperatura del aire externo. Se observa: 1) la diferencia notable en la temperatura del suelo en uno y otro caso, que a comienzo de la primavera supera los 7°C; 2) la tendencia de ambos suelos a igualar sus temperaturas a medida que la temperatura exterior aumenta hacia finales de octubre; 3) la diferencia es significativa aun a finales de octubre, de alrededor de 4,5°C. En la Figura 8 las fluctuaciones no dependen sólo del suelo sino también de la temperatura exterior.

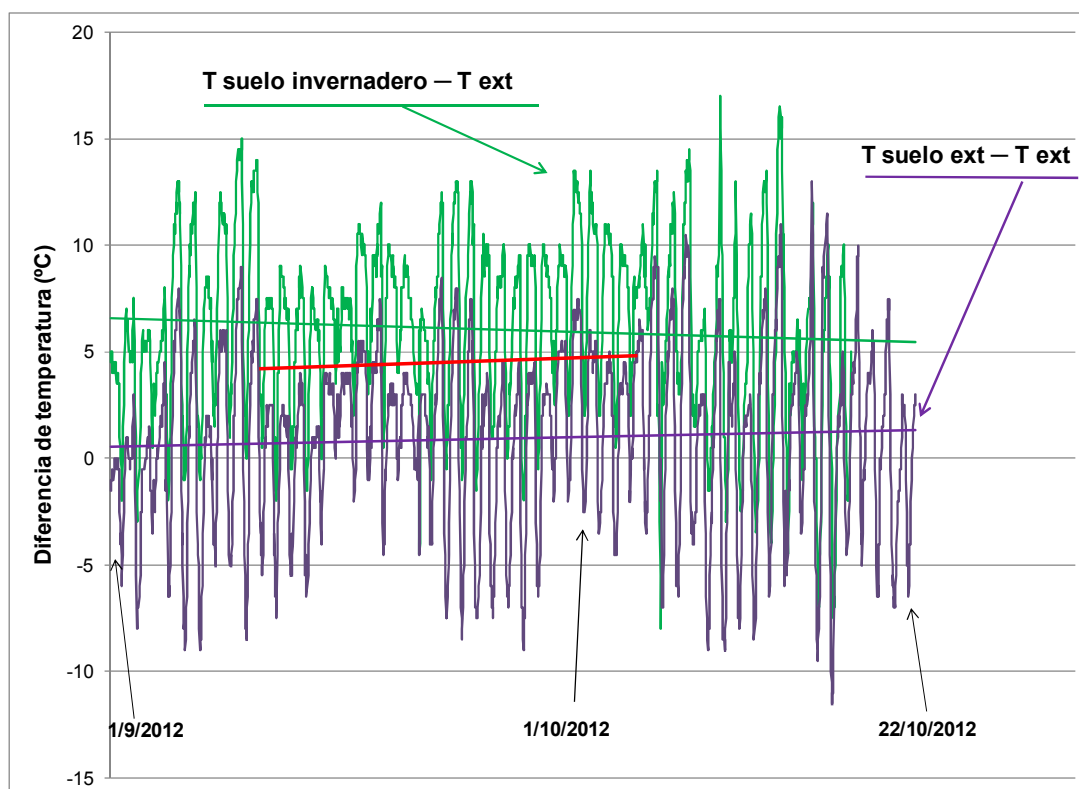


Figura 8: Diferencias de temperatura entre el suelo y el aire en función del tiempo para septiembre 2012 y octubre de 2012.

La línea roja en la Figura 8 representa el valor medio de las diferencias entre el suelo del invernadero y el aire exterior en 2011, cuando no se había realizado aun la rehabilitación. Es interesante ver que sin aislación térmica la diferencia de temperatura crece, con un comportamiento en función del tiempo similar al suelo exterior. En cambio, con el aislamiento perimetral el comportamiento del suelo interior es muy distinto, lo cual grafica el desacople térmico con respecto al suelo exterior. Esto se evidenció también en la Figura 6 en las mediciones en otoño e invierno, y ambas muestran que la mejora es significativa. Cabe mencionar que los efectos del mejoramiento térmico del suelo serían mayores en invernaderos no adosados, ya que en el presente caso una de las dimensiones mayores se encuentra protegida por la vivienda.

Costo de las mejoras

Se tiene en cuenta los materiales y mano de obra para el trabajo final como se ve en las Figuras 1 y 2. Las mejoras se realizaron con 6 cm de poliestireno expandido en las paredes del lado exterior, terminándose con barrera de vapor de Ruberoi y revestimiento de placa cementicia tipo “siding”. El revestimiento se prolongó en la dirección vertical hasta el nivel de piso exterior, en donde se unió al aislamiento térmico e hidrófugo en la vereda perimetral. Este aislamiento perimetral consistió en 0,15 m de espesor de piedra pómez volcánica, cubierta con polietileno de 150 µm y una capa de tierra de 0,10 m de espesor. La parte oeste de la vereda se aisló con poliestireno expandido de 5 cm en lugar de piedra pómez. La Tabla 1 muestra las cantidades de material utilizado y los costos actualizados a julio de 2013. La piedra pómez se recolectó en la costa del Lago Nahuel Huapi, y el costo sólo incluye el transporte. En el caso de no usar piedra pómez, la vereda perimetral puede aislarse

con poliestireno expandido de 5 cm. El costo total es similar, con un costo adicional de sólo \$32 en el caso de la piedra pómez, lo cual se explica por la incidencia menor (11%) que tiene la parte de poliestireno expandido en el costo total, y el costo del transporte de la piedra pómez. Los mayores costos encontrados fueron de mano de obra y de revestimiento.

Tabla 1: Materiales y mano de obra para la aislación térmica perimetral de un invernadero adosado a la vivienda

	Cantidad requerida	Costo unitario	Costo con piedra pómez en la vereda	Costo con poliest. expandido en la vereda
Poliestireno expandido 6 cm pared	16 m ²	\$ 32/m ²	\$512	\$512
Poliestireno expandido 5 cm vereda oeste	3 m ²	\$ 28/m ²	\$84	
Poliestireno expandido 5 cm vereda	14 m ²	\$ 28/m ²		\$392
Siding	17 m ²	\$ 55/m ²	\$935	\$935
Polietileno 150 µm	14 m ²	\$ 9/m ²	\$126	\$126
Transporte piedra pómez	2 m ³	\$170/m ³	\$340	
Soporte	70 m	\$ 6/m	\$210	\$210
Ruberoi	20 m ²	\$ 3/m ²	\$80	\$80
Fijación y pintura			\$200	\$200
Mano de obra	\$60/m ² aislante pared + \$330 vereda		\$1350	\$1350
Total con piedra pómez en la vereda			\$3837	
Total con poliestireno expandido en la vereda				\$3805

El invernadero se utiliza para producción familiar de hortalizas sin uso de agroquímicos. En 2012 se cosecharon 61 kg/año de tomate en el invernadero (promedio 0,6 kg/ planta), entre 6 y 8 kg/año de verdura de hoja verde, y cantidades significativas no pesadas de hojas de cedrón y de aloe vera. El valor comercial para calidad orgánica de estos productos es cercano a los \$1400 /año, con lo cual la aislación perimetral tiene un costo aproximado igual al valor del cultivo en 3 años.

De todos modos, para evaluar el beneficio económico de la rehabilitación que aquí se estudia, sería necesario contar con la variación de rendimiento de cosecha con y sin mejoras, lo cual no se tiene al presente. Debido al tamaño del invernadero y a las variaciones anuales en rendimiento de cultivo, se estima que la posible ventaja económica de la aislación térmica perimetral no puede evaluarse en este tipo de emprendimiento familiar, y debería ser estudiada en invernaderos comerciales de gran tamaño. Sin embargo, las ventajas adicionales como aceleración del cultivo en primavera y disponibilidad de hortalizas frescas hasta el mes de junio en zona bioclimática VI son relevantes tanto para el uso familiar como para la producción comercial, en particular en aquellos casos en que el ancho del invernadero es mucho menor que el largo, y usualmente con pasillos en la parte central y cultivos hacia las paredes laterales más afectadas por el perímetro.

CONCLUSIONES

Continuando un trabajo preliminar publicado en 2012, se profundizó el estudio de un invernadero adosado a una vivienda del periurbano de la ciudad de Bariloche, en zona bioclimática VI. Se realizaron mediciones de la temperatura del suelo y del aire interior y exterior al invernadero para 4 meses de otoño e invierno en 2013 y para 2 meses de invierno y primavera en 2012. Se obtuvo una diferencia significativa de la temperatura del suelo del invernadero con respecto al suelo exterior. Por un lado, en invierno, la diferencia de temperatura del suelo del invernadero con respecto al aire exterior es de 5°C y se mantiene constante entre abril y agosto, cuando la temperatura del suelo exterior disminuye con respecto al aire exterior y la diferencia alcanza 1°C en el mes de agosto. Sin mejora térmica las mediciones previas habían indicado un comportamiento similar del suelo exterior e interior. A comienzo de la primavera (septiembre de 2012), la diferencia entre el suelo del invernadero y el suelo exterior fue de 7°C. Esto es relevante para acelerar el trasplante de plantines a tierra. Se observó también la extensión del período de cosecha hasta el mes de junio de 2013. Se analizó el costo del aislamiento térmico perimetral, que resultó de alrededor de \$3800. Para las condiciones de producción familiar no es posible establecer ventajas económicas debidas a la mayor producción, aunque esto sería interesante de estudiar en invernaderos comerciales.

REFERENCIAS

- Cricyt (2013). Transmitancia térmica de sistemas constructivos. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/pruebas/conductancia/principal.htm>
- Echazú R., Quiroga M., Saravia L., Astudillo C., Palacios A. (2004). Diseño, construcción, y primeros ensayos de invernadero en El Rosal, Provincia de Salta. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 8, 02.43-02.48
- Flores Larsen S. (2011). Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios Energy Plus y SIMEDIF. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 15, 08.27-08.34

- Ganem C., Esteves A. (2001). Invernadero adosado: tecnología solar para acondicionamiento térmico de viviendas y obtención de hortalizas y forrajes en comunidades de bajos recursos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 6, 02.19-02.24
- García V., Iriarte A., Lesino G., Flores S., Matías C., Tapia A. (2004). Cámara bioclimática para producción de plantines injertados de nogal y propagación de algarrobo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 8, 2.49-2.53
- González A.D. (2012a). Estudio de la temperatura del suelo en un invernadero en la Patagonia Andina. Mejora a través de aislamiento térmico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16, 2.17-2.24
- González A.D. (2012b). Estudio de la temperatura en un invernadero adosado con orientación norte en la Patagonia Andina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16, 2.17-2.24
- González A.D., Tognetti C., Van den Heede S. (2011). Beneficios ambientales del uso de paja de cereal para muros en edificios de la Patagonia Andina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 15, 7.55-7.63
- González A.D. (2010). Contribución de la producción y transporte de alimentos al cambio climático: eficiencia calórica y proteica de distintos grupos de alimentos. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 25, 29-37
- González A.D., Crivelli E.S. (2008). Uso de cocinas solares en las condiciones climáticas de Bariloche: resultados de primavera y verano. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12, 3.23-3.30
- Gutiérrez J.A., González A.D. (2012). Determinación experimental de conductividad térmica de materiales aislantes naturales y de reciclado. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16, 8.41-8.48
- Grossi Gallegos H., Righini R. (2007). Atlas de energía solar de la República Argentina. Secretaría de Ciencia y Tecnología y Universidad Nacional de Luján
- IRAM (1996). Norma IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Disponible en: <http://procesosconstructivos.wordpress.com/2011/08/22/pc2%E2%80%A2fichan%C2%BA2-%E2%80%A2-norma-iram-11-603>
- Iriarte A., García V., Saravia L. (2001). Modelo para la predicción de pérdidas nocturnas y necesidad de calefacción de invernaderos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 5, 2.55-2.60
- Jeavons J. (1991). Cultivo biointensivo de alimentos. Ed. Ecology Action
- Madariaga M. (2009). Sistema de soporte de decisiones para la producción agrícola de los valles cordilleranos. *Revista Presencia* 53, 16-20. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/sistema-de-soporte-de-decisiones-para-la-produccion-agricola-de-valles-cordilleranos-patagonicos-ssd>
- SMN (2013). Servicio Meteorológico Nacional. Climatología, datos estadísticos. Disponible en: <http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=R%EDo%20Negro&ciudad=Bariloche>

ABSTRACT: The aim of this work is to deepen into the previous study on the advantages of thermal refurbishments on the borders of a greenhouse in a very cold climate region. Temperatures in a greenhouse with thermal insulation along the borders and surrounding sidewalk were obtained experimentally. During four months in the fall and winter and three months at the beginning of the spring, temperatures were measured in the indoor and outdoor air and soil. Average temperature in the soil indoors is higher than in the soil outdoors in more than 5°C in winter and spring and in more than 7 ° C for extreme cold periods. Thermal insulation of greenhouses at the borders may allow extending crop seasons, and even resulting in economical benefit.

Keywords: Greenhouses, Thermal insulation, Horticultural production, Andean Patagonia