

CONSTRUCCIÓN Y ANALISIS TÉRMICO DE UN INVERNADERO EN LA ESCUELA ALBERGUE DE CERRO NEGRO DEL TIRAO

José E. Quiñonez¹, Valentín Becchio², Rodolfo A. Di Fonzo², Hugo G. Ortiz², Alejandro L. Hernández^{1,2}

¹Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET)
Tel. 54-0387-4255579 – Fax 54-0387-4255489 e-mail: jeql@hotmail.com

RESUMEN: En el presente trabajo se detallan algunos aspectos constructivos de un invernadero andino para la escuela albergue N° 4587. La construcción del invernadero tiene la finalidad de proveer hortalizas todo el año a los niños y personas que se hospedan en el establecimiento. La escuela se ubica en una zona de difícil acceso a 3580 m sobre el nivel del mar y la hostilidad del clima no permite producir variedad de verduras. Se instaló un sistema automático de medición para registrar datos de temperatura en el interior del invernadero. Se realizó un estudio termo energético mediante mediciones de temperaturas, comparando los datos y valorando las transferencias de calor. Luego, se ingresaron los datos constructivos y propiedades térmicas en un software de simulación de edificios, obteniendo buenos ajustes entre datos simulados y medidos. Por último, se extrapoló para el mes con menor temperatura exterior con el fin de predecir su comportamiento y proponer mejoras.

Palabras clave: invernadero andino, energía solar, solar térmica.

INTRODUCCIÓN

El paraje Cerro Negro del Tirao, departamento Rosario de Lerma, provincia de Salta, se encuentra al pie del gran cerro Malcante, es colindante al Parque Nacional Los Cardones, al oeste del primer cordón montañoso de la cordillera oriental, oscilando su relieve a través de quebradas, planicies y conos aluviales. Presenta una altura de entre 3000 a 3700 metros y se caracteriza por la presencia de un clima árido a semi-árido. La amplitud térmica es muy marcada (máxima 20 °C, mínima -10 °C) y en los meses de agosto y setiembre se pueden registrar grandes ráfagas de viento que llegan hasta los 70 km/h (Di Fonzo, Becchio y Belmonte, 2022). Se accede al paraje a través de la Ruta provincial N°33, de pavimento y transitable todo el año, en dirección a Payogasta y Cachi. En la parte Norte de la recta del Tin Tin, se toma un desvío en dirección Este por la Ruta provincial secundaria N°48. Por este camino rural, se debe recorrer aproximadamente 50 km por ripio y cornisas. El camino se interrumpe en verano producto de las crecidas de pequeños cauces y arroyos de quebradas imposibilitando así el acceso de vehículos desde fines de diciembre a fines de febrero. Este camino termina en la Escuela Albergue N°4587. Actualmente, la escuela cuenta con una matrícula de 12 estudiantes, además de contar con la presencia de dos docentes y un ordenanza de manera permanente, y docentes itinerantes que se alojan en la escuela por distintos periodos de tiempo. En la escuela estudian, trabajan, comen y duermen entre 16 y 22 personas de lunes a viernes.

En Cerro Negro del Tirao habitan 14 familias campesinas de manera dispersa a lo largo del territorio, algunas de las casas se ubican al borde del camino, mientras que las que se encuentran pasando la escuela no cuentan con camino vehicular para acceder a sus hogares, teniendo que movilizarse hasta 3 horas por caminos de herradura para llegar desde el camino de vehículos hasta sus hogares. Las familias también se movilizan hacia los pueblos y ciudades del valle de Lerma a través de caminos de herradura que atraviesan los valles de El manzano y Corralito, para llegar así a la ciudad de Rosario de Lerma luego de unas 8 horas de viaje a caballo (Di Fonzo, Becchio y Belmonte, 2022, 2023). Las condiciones climáticas del lugar limitan la producción agrícola a unas pocas especies de hortalizas (papa andina,

habas, arvejas, hortalizas de hoja a escala familiar) casi exclusivamente a los meses de verano. Por otro lado, las dificultades en el acceso al paraje condicionan la posibilidad de acceso a frutas y verduras frescas desde los centros urbanos. Es así que la dieta de las familias de Cerro Negro del Tirao en general, los niños y trabajadores que habitan en la escuela, se ve limitada al consumo de lo que se produce in situ y algunas hortalizas que se puede traer desde la ciudad aprovechando viajes que realizan los maestros una vez por semana para ir a la escuela.

A comienzos del año 2022 en el marco de dos proyectos surge la posibilidad de implementar, por un lado, tecnologías vinculadas a las energías renovables y por otro lado continuar con la mejora de los sistemas productivos en la comunidad. Mediante el financiamiento de estos proyectos, se discutió sobre las posibles acciones a desarrollar en una reunión comunitaria con los habitantes de Cerro Negro del Tirao a principios del año 2022. Habiendo conversado sobre distintos desarrollos tecnológicos con potencial de implementación, la comunidad fue la que decidió sobre la construcción de un invernadero en el predio de la escuela, con el objetivo principal de producir hortalizas para abastecer el comedor escolar, diversificando así la dieta de los niños que asisten. Además, surgió la posibilidad de que esta aplicación térmica sea replicada en las casas de las familias por lo que resultaba interesante la construcción del invernadero en la escuela para dar a conocer esta tecnología al conjunto de las familias del paraje.

La construcción del invernadero en Cerro Negro del Tirao se basó en investigaciones y desarrollos de invernaderos en altura (Abdo et. al, 2005; Echazú et. al, 2004; Quiroga et. al, 2008), entre otros. El invernadero tipo andino boliviano se caracteriza por estar construido con paredes de adobe, sin estructura de hormigón armado, con techo a un agua, incorpora otro espacio físico llamado “cámara oscura” en el sector sur, la cual intercambia aire con la zona de cultivo. Esta adaptación busca reducir los efectos de la amplitud térmica característica de la región andina reduciendo la temperatura en horas de mayor radiación. En palabras de los autores “El modelo andino boliviano se adaptó mejor a las condiciones climáticamente más drásticas de la puna y pre-puna argentinas, regulando mejor la temperatura”. En Echazú y Quiroga (2016) se describe como se llega a los diseños de invernaderos andinos a partir de una serie de mejoras hechas sobre el modelo andino boliviano, incorpora una cubierta de forma elíptica en la cámara de cultivo, una estructura de hormigón armado y la mejora en los sistemas de circulación de aire, conformándose, así como un nuevo modelo: el invernadero tipo El Rosal. Este invernadero fue construido en el año 2005 y se encuentra todavía en funcionamiento, cuenta con una buena sistematización de los procesos constructivos (Echazú et. al, 2004) y fue evaluado térmicamente en (Quiroga et. al, 2016). El modelo tipo El Rosal ha demostrado su adaptabilidad a este tipo de clima a lo largo de los años, produciendo hortalizas para abastecer el comedor de la escuela. En el presente trabajo se adopta el modelo tipo El Rosal debido a sus prestaciones constructivas y similitudes climáticas. Se detallan aspectos constructivos del invernadero en la escuela de Cerro Negro del Tirao. Además, se realizan mediciones de temperaturas, evaluación termoenergética y simulaciones con el objetivo de proponer mejoras a futuro.

DESCRIPCIÓN DEL INVERNADERO

Emplazamiento

La elección se basó en premisas básicas como: orientación, nivelación de terreno y toma de agua. La zona donde está ubicada la escuela es un terreno irregular con muchas pendientes. En la Figura 1 (a) se recuadra en amarillo el lugar donde se construyó el invernadero y se indica el sentido de pendiente decreciente, flecha azul. La orientación del invernadero esta desviada hacia el este respecto del norte geográfico, la toma de agua de la escuela se ubica en zona oeste de la escuela. La Figura 1 (b) muestra una fotografía durante el proceso de nivelación del terreno. El movimiento de tierra se realizó de manera manual. Al ser un terreno con pendiente bien pronunciada, ayudó a que la cara oeste del invernadero quede resguardada evitando el fuerte impacto de los vientos.

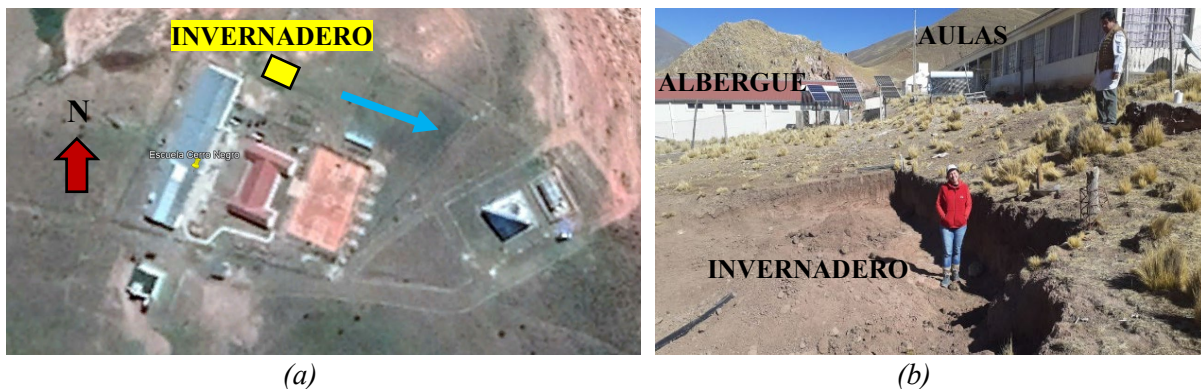


Figura 1: (a) Ubicación del invernadero, (b) excavación y nivelación de terreno.

Los planos y estructura de la obra

En la Figura 2 se tienen algunos detalles del invernadero andino, en (a) se muestra un plano de vista en planta y perfil, y en (b) un esquema en 3D. La zona de cultivo, se ubica en el sector norte para recibir la mayor cantidad posible de luz, tiene una cubierta transparente de plástico de invernadero y su forma es elíptica para soportar los fuertes vientos. La cámara oscura está ubicada en el sector sur y tiene de cubierta un techo de chapa. Las ventanillas frontales a la altura del suelo tienen como finalidad la renovación de aire en el interior del invernadero para controlar el sobre calentamiento. La pared interior entre la zona de cultivo y cámara oscura, también tiene ventanillas en la parte inferior y superior para favorecer el intercambio de aire entre los dos ambientes. Durante el proceso de obra se replantearon detalles de aberturas y dimensiones. Las medidas definitivas del invernadero son 10 m de ancho y 7 m de profundidad.

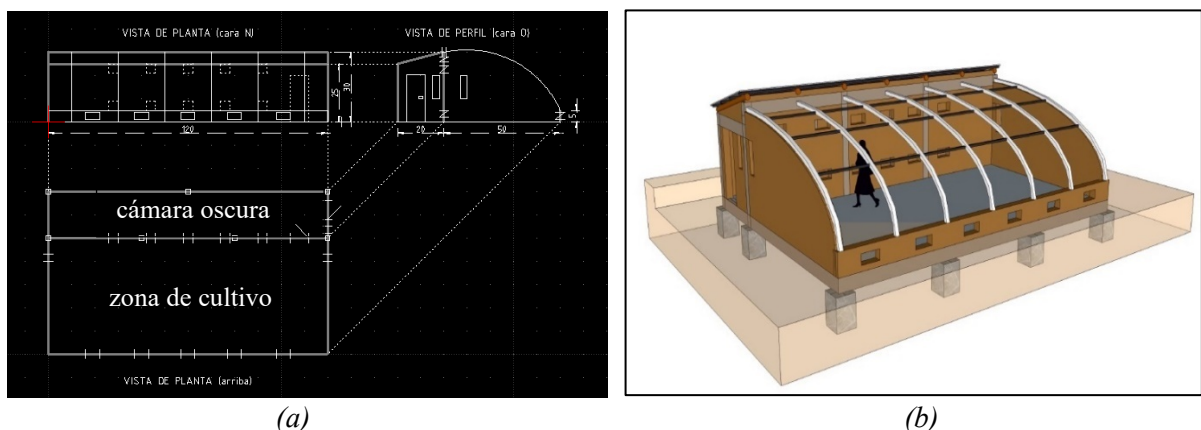


Figura 2: Invernadero, (a) vista de planta y de perfil, (b) esquema en 3D.

Ejecución de obra

Durante la ejecución de obra se realizaron visitas y jornadas de trabajo todos los meses desde abril a diciembre con permanencia de 2 a 4 días. Los ladrillos de adobe fueron elaborados por personas de la comunidad en el predio de la escuela. Se fabricaron aproximadamente 1200 ladrillos de 12x17x40 cm, no son de la medida usualmente usada en las construcciones de la zona, pero por disponibilidad de adoberas se optó por estas medidas. Durante el mes de junio hasta agosto se realizó el cavado para zapatas, vigas de arriostra y su posterior llenado. Luego se levantaron las paredes de adobe y se llenaron las columnas de soporte de las mismas y las vigas de cierre. En el mes de septiembre se colocó el techo de la cámara oscura, en este caso es de chapas acanaladas con aislamiento térmico de 2 cm de espesor de espuma de polietileno. Posteriormente se plantaron los arcos de soporte para la cubierta plástica de la zona de cultivo.

A fines del mes de septiembre, se colocó la cubierta plástica en la cámara de cultivo. La colocación no es una tarea fácil de resolver, ya que debe quedar bien fija y superficialmente bien estirada. Durante el proceso de construcción se replantearon cantidad de aberturas y dimensiones, quedando finalmente cuatro aberturas frontales para control de temperatura en la zona de cultivo y la misma cantidad de

aberturas en la pared divisoria entre ambos ambientes. Al principio el invernadero funcionó con agua arrimada de otros servicios dentro de la escuela. Luego, desde febrero del presente año, se instaló un sistema de abastecimiento de agua exclusivamente para el invernadero.



Figura 3: Proceso de construcción del invernadero en la Esc. Albergue N°4587.

En la Tabla 1 se detalla los insumos y materiales utilizados para la construcción del invernadero. Cabe destacar que al ser una zona de difícil acceso y alejada de los grandes centros comerciales, la logística de transporte es importante para poder llevar adelante este proyecto.

Tabla 1: Insumos y materiales para la construcción del invernadero.

Insumos y materiales	Cantidad	Destino
Adoberas 12 cm x 17 cm x 40 cm	2	Paredes
Hierro torsionado 10 mm x 12 m	40	Columnas, vigas y zapatas
Hierro torsionado 6 mm x 12 m	45	Columnas, vigas y zapatas
Alambre N°16 (1,59 mm)	10 kg	Columnas, vigas y varios
Alambre N°14 (2,03 mm)	10 kg	Columnas, vigas y varios
Chapas acanaladas calibre 25 x 2,5 m	13	Techo cámara oscura
Aislante térmico doble capa 10 mm x 10 m	1	Techo cámara oscura
Tornillos autoperforantes 2"	150	Techo cámara oscura
Clavos punta paris 2" y 2,5"	4 kg	Usos varios
Caño rectangular 10 mm x 30 mm x 1,2 mm x 6 m	4	Usos varios
Hierro ángulo 3/4" x 1/8" x 6 m	1	Usos varios
Planchuela 3/4" x 1/8" x 6 m	1	Usos varios
Cemento x 50 kg	30	Columnas, vigas y zapatas
Postes eucalipto 15 mm x 2,5 m	2	Techo cámara oscura
Pintura asfáltica x 4 L	1	Aislación de base en paredes
Madera para encofrar 0,02 m x 2 m	10	Columnas y vigas
Perfil C 80 mm x 50 mm x 2 mm x 12 m	3	Techo cámara oscura
Angulo 1 1/2" x 1/8" x 6 m	5	Aberturas
Angulo 1 1/4" x 1/8" x 6 m	4	Aberturas
Bisagras ala corta	12	Aberturas
Alambre negro N° 8 (4 mm)	10 kg	Techo cámara y varios
Pintura esmalte 3 en 1 x 4 L	1	Arcos
Polietileno ADT 150 micrones 7,2 m x 6,5 m	1	Techo cámara de cultivo
Arcos caño estructural redondo 1,5" x 2 mm x 5 m	8	Techo cámara de cultivo
Madera 3/4"	5 m ²	Aberturas
Herramientas varias de trabajo	-	-

Una vez terminada la construcción del invernadero, la organización productiva realizada por las personas responsables y niños de la escuela fue fluida. Desde su funcionamiento el invernadero está produciendo hortalizas. La participación activa de la comunidad y la escuela hicieron que la tecnología sea aceptada y apropiada por ellos. El entusiasmo y la productividad se ven reflejados en las fotografías de la Figura 4, las mismas fueron enviadas por la directora de la escuela.



Figura 4: Producción en el invernadero (lechuga morada y cremosa, acelga, cebollines, perejil, arvejas y tomate).

MEDICIÓN DEL INVERNADERO

La finalidad de estudiar termo energéticamente al invernadero es poder predecir su comportamiento frente a situaciones extremas de clima. Lo más fácil de controlar son las elevadas temperaturas ya que simplemente se debe abrir ventanillas para renovar el aire en su interior. En cambio, las bajas temperaturas pueden ocasionar la muerte de las plantas. Entonces es conveniente plantear estrategias o proponer mejoras. Es importante conocer su impacto y optimizar los recursos. A continuación, se presenta todo lo relacionado con las mediciones y estimaciones realizadas.

Descripción del datalogger

Las mediciones fueron realizadas mediante un datalogger autónomo que utiliza un microprocesador ATmega328. El microprocesador fue acondicionado electrónicamente para la realización de estas medidas tratando optimizar sus recursos. El sistema de adquisición de datos es alámbrico, y cuenta con diez sensores de temperatura. Las longitudes de cable en cada sensor son mayores a 3 m, por ello, se optó realizar las mediciones de temperaturas con sensores digitales DS18B20. Estos tipos de sensores permiten asignarle una dirección y es posible conectar varios de ellos en un mismo canal. Para evitar la incidencia directa de la radiación, todos los sensores fueron acondicionados mediante una pantalla reflectante. Los registros fueron realizados cada cinco minutos y almacenados en una tarjeta de memoria.

Ubicación de Sensores

Al momento de instalar los sensores, el invernadero estaba produciendo hortalizas. Por lo tanto, tenían parcelas con diferentes cultivos y sendas de paso. La distribución y ubicación de sensores se realizó de

manera que no entorpezcan el paso y además resulten representativas para el estudio térmico. El invernadero tiene dos ambientes, una zona de cultivo y una cámara de aire (cámara oscura). Ambos ambientes están separados mediante una pared masiva de adobe de 18 cm de espesor.

En la Figura 5 (a-c) se representa al invernadero y se detalla la ubicación de los sensores mediante puntos denominados con la letra S. En el esquema (a), se observa la vista norte, zona de cultivo, en (b) una vista suroeste y (c) vista este, cámara de aire. Con la finalidad de mostrar con mayor claridad la ubicación de los sensores no se representa la cubierta transparente de la zona de cultivo y se realiza un corte en la pared este, cámara de aire.

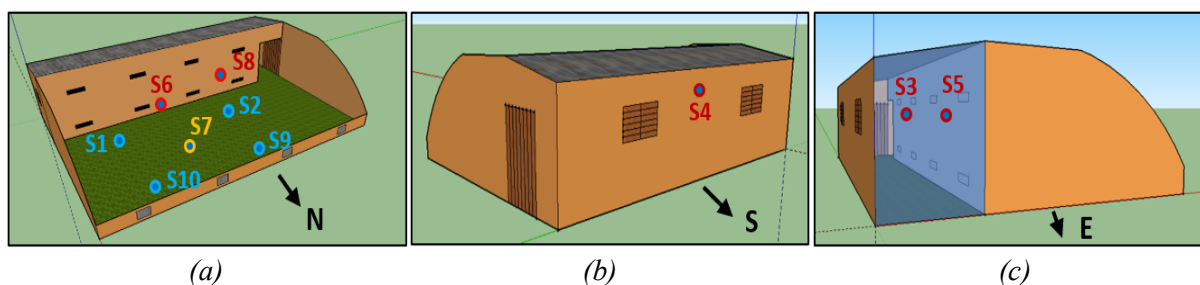


Figura 5: Ubicación de sensores en el invernadero, (a) vista norte, (b) vista sur y (c) vista este.

Todos los sensores se conectan al datalogger ubicado en la cámara de aire. Los sensores S1, S2, S9 y S10 registran datos de temperatura a nivel del cultivo, 20 cm de suelo. S9 y S10 están ubicados cerca de las ventanillas frontales del invernadero, S1 y S2 están ubicados en la misma dirección por detrás de los anteriores, respectivamente. El sensor S7, está enterrado a 7 cm de la superficie y ubicado en el centro geométrico de la zona de cultivo, aproximadamente. Los sensores S6 y S8 representan la temperatura del aire a la altura de la cabeza, 1,70 m, en la zona de cultivo, y S3, S5 se encuentran en la cámara de aire a 1,80 m del suelo. Por último, S4 mide la temperatura del ambiente exterior.

La Figura 6 (a-c) muestra el cableado de algunos sensores instalados en el interior del invernadero. En (a) el sensor está ubicado cerca de la parcela de lechugas, en (b) suelo preparado para realizar trasplante de alguna hortaliza, sensor ubicado a media altura y en (c) un sensor a nivel de cultivo de cebollas y otro a una altura de 1,70 m. En todas las imágenes se observan cables colgantes con un objeto plateado que recubre al sensor. El recubrimiento es una fina lamina de aluminio para apantallar la radiación solar directa.



Figura 6: Sensores instalados en el interior del invernadero, (a) nivel de cultivo, (b) nivel medio y (c) nivel de cultivo y 1,7m de altura.

Resultados de las mediciones

Los datos de temperatura que se presentan corresponden a condiciones normales de funcionamiento, ya que, el invernadero estaba en pleno funcionamiento al momento de la medición. En todas las gráficas se incluye los datos de temperatura del ambiente exterior, T_{amb} . El día completo de medición corresponde al diecisiete del mes de marzo. Los lugareños comentan que durante esta época del año es común que por las tardes “bajen las nubes”, es decir, se nuble.

La Figura 7 presenta los datos medidos a nivel del cultivo, S1, S2, S9 y S10, 20 cm de suelo. Los cuatro puntos de medición muestran gran amplitud térmica durante el día. Las temperaturas interiores y del ambiente exterior tienen la misma tendencia durante el día-noche. A partir de la salida del sol, 7:30 aproximadamente, las temperaturas en el interior del invernadero tienen un mayor incremento y alcanzan valores superiores a 25°C. Luego, considerando las horas donde no hay incidencia de radiación solar, 18:00 aproximadamente, las cuatro temperaturas se uniformizan y van en descenso debido a las pérdidas térmicas hacia el exterior. En este caso, se mantiene una diferencia de 5°C entre las temperaturas y el ambiente exterior durante varias horas nocturnas. El tipo de descenso muestra que existe un poco de acumulación de energía en el interior del invernadero. El mínimo alcanzado en el interior es de 7°C, mientras el ambiente exterior estuvo a 5°C. Considerando 3°C de temperatura mínima para que las hortalizas no tengan estrés térmico, se observa que las plantas no se ven afectadas para esta fecha.

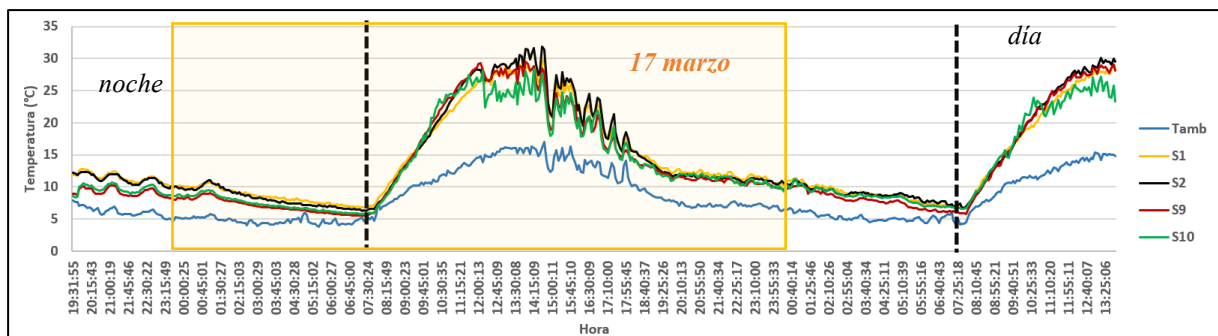


Figura 7: Temperatura del aire a nivel del cultivo.

En la Figura 8 se grafica la temperatura ambiente en el interior del invernadero a la altura de la cabeza, 1,70 m. Comparando estos datos con los del nivel de cultivo, se tiene diferencias entre 2 °C y 3 °C por arriba en horas diurnas. Mientras que en horas nocturnas se asemejan hasta terminar prácticamente iguales al llegar a la mínima de 7 °C. Esta igualdad de temperaturas de dos sensores ubicados a diferentes alturas muestra que no hay estratificación y el aire está convectando durante la noche. Teniendo en cuenta el rango de 18-25 °C como un valor óptimo de crecimiento y desarrollo para las plantas en horas diurnas, se observa que hay un excedente de energía durante las 10:30 y 16:30 horas que podría ser energía acumulada para mejorar la situación térmica nocturna.

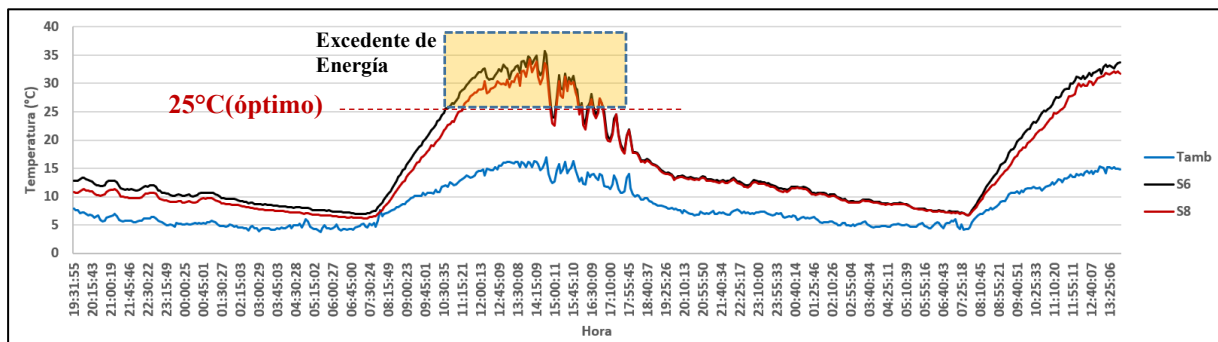


Figura 8: Temperatura ambiente en el invernadero.

La Figura 9 muestra la temperatura de dos sensores ubicados en la cámara de aire. Este sector no recibe radiación directa, su techo es de chapa aislada térmicamente con membrana aislante de espuma de 20 mm de espesor. Con respecto a los datos medidos, se observa nuevamente un incremento de la temperatura del aire durante las horas diurnas y un descenso en las noches. Existe una diferencia con el exterior, aunque menor que en los otros casos. Recordemos que, la zona de cultivo y cámara de aire están separadas por una pared masiva que tiene ventanillas y una abertura de paso. Evidentemente, durante el día la zona térmica del cultivo aporta energía hacia la cámara de aire a través de las aberturas (se explica más adelante).

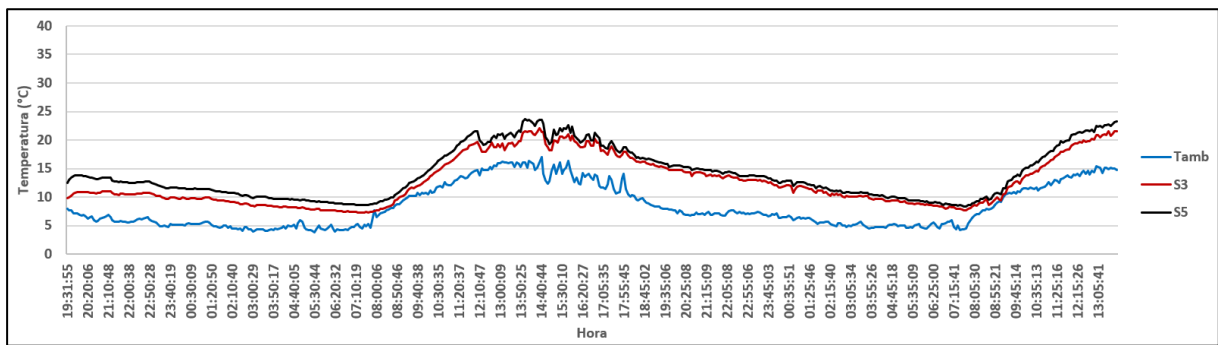


Figura 9: Temperatura ambiente en la cámara de aire.

La Figura 10, muestra la variación de temperatura del sensor que se encuentra enterrado en el suelo del cultivo. La temperatura oscila entre 13 °C y 17 °C durante un día completo. El valor mínimo se obtiene a las 9 am y el valor máximo a las 17 pm. Este dato permite aproximarse a la temperatura en las raíces del cultivo. Durante este día de medición el suelo se encontraba con bastante humedad debido al riego, esto ayudo a que no tenga grandes variaciones durante el día.

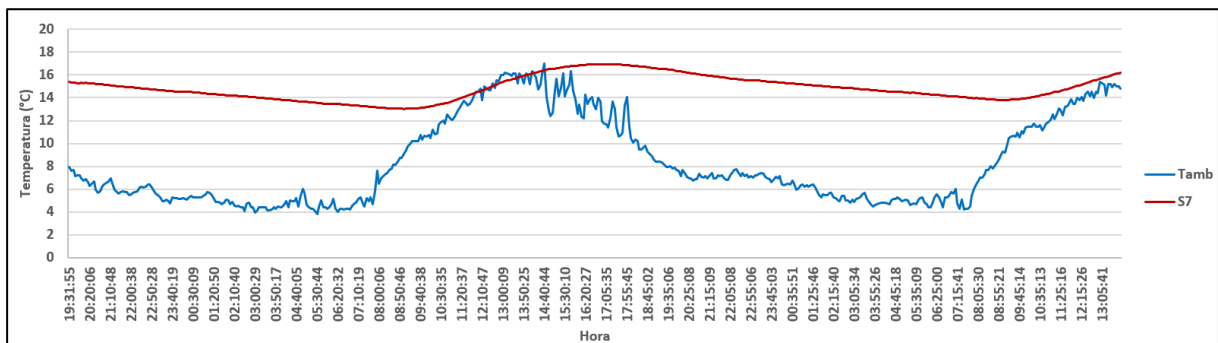


Figura 10: Temperatura de suelo en la zona de cultivo.

A modo comparativo se grafica la Figura 11, donde se representa las temperaturas ambientes en la zona de cultivo, S2 y S8, y la temperatura ambiente en la cámara de aire, S5. Durante las horas de sol es mayor la temperatura en la zona de cultivo que en la cámara de aire. Mientras que, sucede lo inverso durante las horas nocturnas, donde es mayor la temperatura en la cámara de aire. Esto indica que hay un movimiento de fluido durante las 24 horas del día entre los dos ambientes. Es notorio el aporte de energía desde la cámara de aire hacia la zona de invernadero (zona remarcada) en las horas nocturnas, la cámara de aire esta entre 2 y 3 °C por encima que en zona de cultivo.

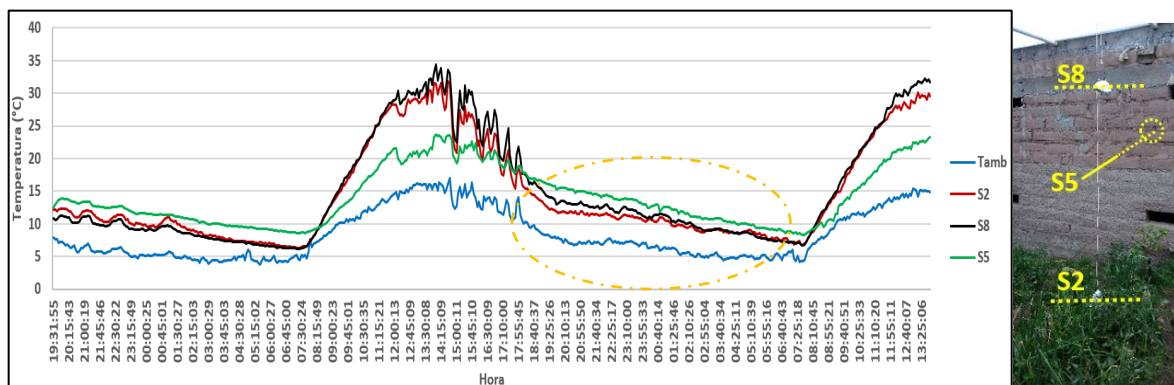


Figura 11: Temperatura ambiente, exterior, zona de cultivo y cámara de aire.

Simulación

Con la finalidad de predecir y proponer mejoras a futuro se realiza una simulación del invernadero mediante el software SIMEDIF 2.0. Este software permite obtener las temperaturas de los ambientes para cualquier época del año. Para ello se consideró a los dos ambientes, sus dimensiones, propiedades

térmicas de los materiales y datos climáticos del lugar. Al ser una zona de altura del noroeste argentino se conoce que existe buena disponibilidad del recurso solar y grandes amplitudes térmicas diarias. En invierno es frecuente que durante las noches se tenga varias horas de temperaturas exterior bajo cero.

Para validar el modelo del invernadero, se contrasto los datos medidos del día 17 de marzo con los simulados por SIMEDIF para ese mismo día. Hay muchas dificultades para encontrar datos climáticos del lugar, ya que no existe una estación meteorológica en el sitio. Por lo tanto, se optó por datos satelitales de la página web de National Solar Radiation Database (NSRDB). El software necesita como datos de entrada la irradiación global diaria sobre el plano horizontal y las temperaturas, máxima, media y mínima. Los valores ingresados fueron los siguientes: $H = 26,6 \text{ MJ/m}^2$, $T_{\text{máx}} = 15,90 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{med}} = 9,09 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} = 3,8 \text{ }^\circ\text{C}$. De todas formas, se presenta la Figura 12 donde muestra la variación de temperatura ambiente e irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal para el 17 de marzo. La estimación de irradiación solar global horaria fue realizada a partir del dato diario usando el software GEOSOL mediante el modelo de cielo claro, (Hernández, 2003).

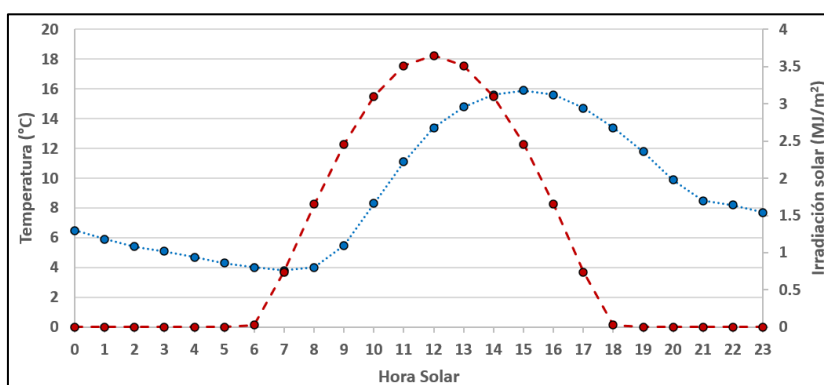


Figura 12: Evolución temporal de la temperatura ambiente y radiación solar sobre plano horizontal, 17 de marzo.

El resultado de la simulación para la zona de cultivo se presenta en la Figura 13. Además, se contrasta con los datos medidos para el 17 de marzo. Al comparar los datos medidos y simulados, desde las 0 hs. del día 17 hasta las 13 hs. del día 18, se observa una buena estimación en la zona de cultivo. Durante las horas de noche la diferencia entre medidos y estimados es inferior o igual a $2 \text{ }^\circ\text{C}$. A partir de la salida de sol se observa que existe muy buena correlación. Luego desde las 13 hs los datos medidos indican la existencia de nubes por este motivo se nota mucha dispersión en la gráfica.

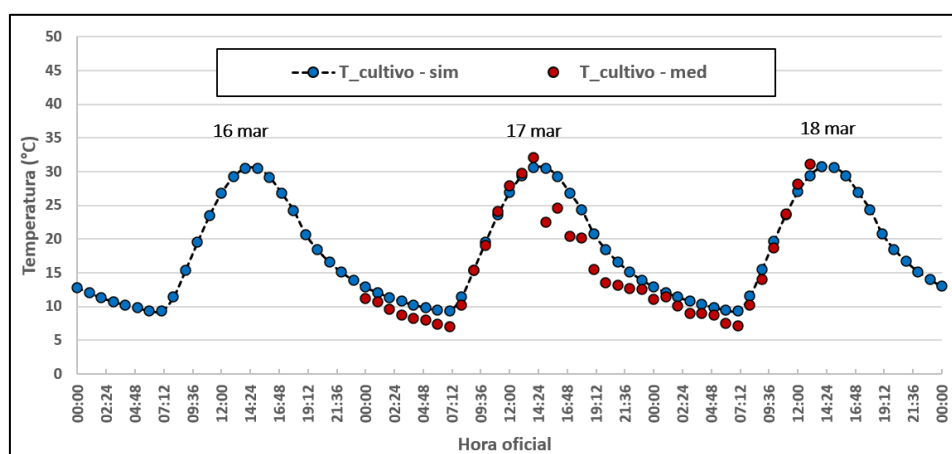


Figura 13: Comparación datos medidos vs simulados en zona de cultivo, 17 de marzo.

Ahora se contrasta temperatura simulada y medida en la cámara de aire, Figura 14. Nuevamente se observa una buena correlación a partir de las 0 hs del 17 de marzo hasta horas cercanas al mediodía, las diferencias de temperaturas entre ambos valores son menores a $2 \text{ }^\circ\text{C}$. La simulación considera un día despejado, cielo limpio, por este motivo la presencia de nubes genera que los datos medidos estén por

debajo de los estimados a partir de las 13 hs. De todas maneras, ambos datos tienen pendiente decreciente similares, esto se observa durante las dos noches.

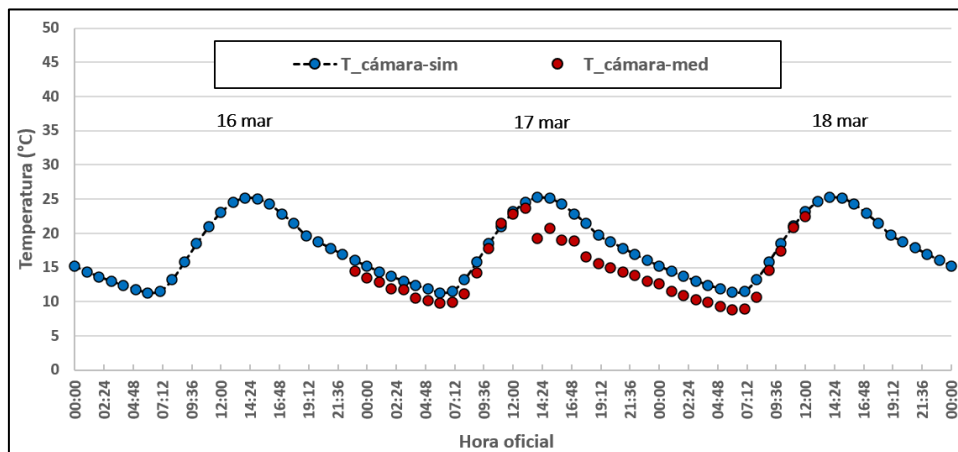


Figura 14: Comparación datos medidos vs simulados en cámara de aire, 17 de marzo.

Como resultado de la comparación entre datos medidos y simulados, se considera que el modelo del invernadero es apropiado para predecir condiciones futuras de comportamiento térmico. Ahora, con la finalidad de conocer su comportamiento frente a climas más severos, se extrapola el modelo para estimar la temperatura en la zona de cultivo y cámara de aire para el mes de julio. Para este caso se consideró: $H = 17,91 \text{ MJ/m}^2$, $T_{\text{máx}} = 5,3 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{med}} = 2,39 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{mín}} = -8,10 \text{ }^\circ\text{C}$.

El resultado de la estimación se muestra en la Figura 15, donde se presentan 3 días de simulación, 4, 5 y 6 de julio. Los altos niveles de radiación solar no garantizan el funcionamiento del invernadero en el rango de temperatura deseado. La baja temperatura exterior incrementa las pérdidas térmicas, trayendo consecuencias graves en el cultivo. En la zona de cultivo, se tiene varias horas de temperatura bajo cero, desde las 3 hasta las 9 horas, esta condición provocará consecuencias adversas sobre el cultivo. Una información interesante que marca la simulación es el intercambio de energía entre ambos ambientes (zona de cultivo y cámara de aire), lo que nos da un indicio que se pueden mejorar las condiciones térmicas de la cámara de aire. Las condiciones de temperatura utilizadas en la simulación no son las extremas, generalmente en las noches de invierno se alcanza fácilmente $-10 \text{ }^\circ\text{C}$. Los resultados demuestran que se deben tomar medidas de prevención y mejoras térmicas, con la finalidad de optimizar las condiciones en el interior del invernadero para los meses de invierno.

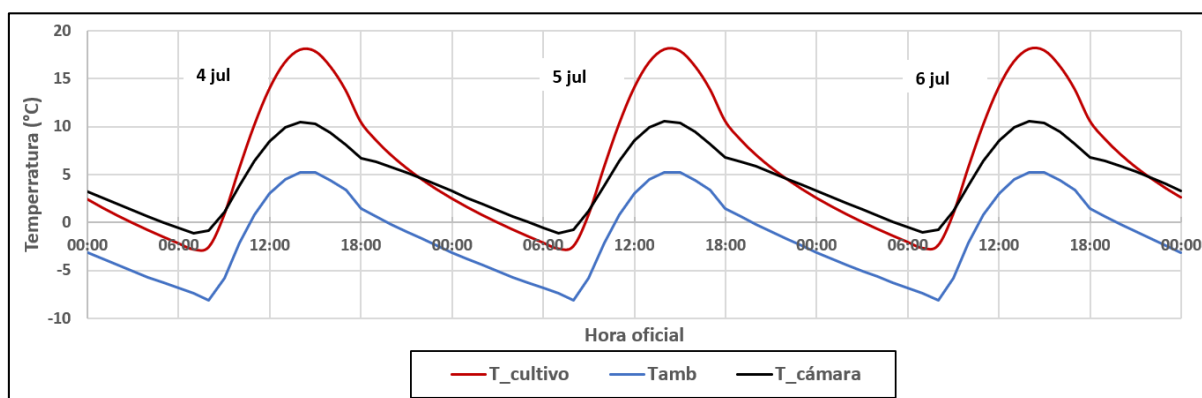


Figura 15: Estimaciones de temperatura en el interior del invernadero para días de julio.

A modo de comentario, la directora de la escuela nos comunicó que las plantas se helaron cuando tuvieron 2 días de mucho frío, antes de llegar al mes de julio. La planta que primero sufrió la helada fue el tomate. Es conveniente tomar medidas pensando en el próximo año.

CONCLUSIONES

La Escuela Albergue N° 4587 es una institución que nuclea a toda la comunidad del Cerro Negro del Tirao. Haber construido un invernadero para la producción de hortalizas muestra el trabajo interdisciplinario entre los investigadores, responsables de la escuela y la comunidad, logrando concretar una propuesta de investigación y acción participativa.

La construcción del invernadero tuvo resultados positivos. Además de variar la dieta alimenticia de los niños, ellos lograron conectarse con la tierra a través de actividades sensoriales beneficiosas para su desarrollo desde lo cognitivo y emocional. También, los maestros realizaron trabajos educativos en torno al invernadero.

Otro logro importante de la escuela a través del ministerio de educación, fue la incorporación de un maestro agrónomo. El maestro los visita una vez a la semana para cuidar de las plantas y educar a los estudiantes.

Se pretende continuar monitoreando las temperaturas del invernadero, para optimizar su funcionamiento. Se debe mejorar la adquisición de datos, el datalogger consume rápidamente las baterías. Además, los datos medidos permiten validar y mejorar el ajuste del modelo en otras épocas del año. Es importante contar con datos medidos en la época invernal para continuar con la validación del modelo. La simulación realizada para días del mes de julio mostraba en el interior del invernadero temperaturas bajo cero, esto ocurrió realmente de acuerdo a la información brindada por la directora.

En base a la información y estudio realizado, se proponen mejoras para las condiciones térmicas en el interior del invernadero. Una de ellas, es oscurecer las paredes del interior del invernadero para mejorar la absorción solar, en particular la pared que tiene una cara expuesta al norte. Otra posibilidad es aumentar la masa térmica en la zona de cultivo, para lograr atenuar la amplitud térmica diaria. También se evaluarán otras propuestas más sofisticadas, pero siempre con la premisa de practicidad en cuanto a la aplicación porque es una zona de difícil acceso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a las partes que hacen posible llevar adelante este proyecto. Proyecto PROCODAS-PTIS 2021 “Energías renovables en los cerros de Salta: Construyendo redes de colaboración para el buen vivir”; Proyecto PFI 2021 “Certificación de origen con base agroecológica y economía solidaria: Redes colaborativas de innovación en los cerros de Rosario de Lerma y La Caldera, Salta.”; y la Comunidad de Cerro Negro del Tirao.

REFERENCIAS

- Abdo, E. SZanto, A., Echazú, R., y Quiroga, M. (2005). La difusión de invernaderos de altura con diseño mejorado en Nazareno, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9. 10.07-10.12.
- Di Fonzo, R., Becchio, V., y Belmonte, S. (2022). Formas de habitar en Cerro Negro del Tirao, Salta: Una aproximación desde la investigación acción participativa. Primer Encuentro TERRITORIOS HIDROSOCIALES EN DISPUTA. Modelos de desarrollo, formas de habitar y crisis socioambiental. 25 y 26 de agosto de 2022. Modalidad virtual. Evento organizado por el Instituto de Investigaciones en Humanidades y Ciencias Sociales. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Universidad de la Plata.
- Di Fonzo R., Becchio V., y Belmonte S. (2023). Procesos participativos hacia la Soberanía Alimentaria y el Buen Vivir en Cerro Negro del Tirao, Salta, Argentina. *Perspectivas Rurales, Nueva Época*. Universidad Nacional Costa Rica (En prensa).
- Echazú, R., Quiroga, M., Saravia, L., Astudillo, C., y Palacios, A. R. (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.
- Echazú, R. D., y Quiroga, M. A. (2016). *Energía Solar*. Capítulo 6: Invernaderos y Energía Solar, 1° edición especial, pp. 88-111. ANCFN, Buenos Aires.

- Hernández, Alejandro L. (2003). GEOSOL: Una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7, 11.19-11.24.
- INENCO - Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, UNSa-CONICET. Dirección URL: <<https://leb.inenco.unsa.edu.ar/index.php/es/software/simedif-2-0-calculo-termico-de-edificios/>> [consulta: 14 de agosto de 2023]. Versión diseñada por la Dra. Silvana Flores Larsen.
- NREL Transforming Energy [en línea]. NSRDB - National Solar Radiation Database. Dirección URL: <<https://nsrdb.nrel.gov/data-viewer>> [consulta: 14 de agosto de 2023].
- Quiroga, M., Palacios, A., Hoyos, D., y Echazú, R. (2016). Estudio experimental de dos invernaderos andinos en El Rosal, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 20, 02.21-02.29.
- Quiroga, M. A., Anquín, A. D., y Hoyos, D. (2008). Una experiencia interdisciplinaria de educación, extensión y transferencia en El Alisal-Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 10.25-10.31.

CONSTRUCTION AND THERMAL ANALYSIS OF A GREENHOUSE IN THE 'ESCUELA-ALBERGUE' OF CERRO NEGRO DEL TIRAO

ABSTRACT In the present work some constructive aspects of an Andean Greenhouse for the escuela-albergue N° 4587, are detailed. The construction of the greenhouse has the purpose of providing vegetables all year round to the children and people who stay at the establishment. The school is located in an area of difficult access at 3580 above sea level and the hostility of the climate does not allow the production of a variety of vegetables. An automatic measurement system to record temperature data inside the greenhouse, was installed. A thermo-energetic study was carried out by means of temperature measurements, comparing the data and evaluating the heat transfers. Finally, the construction data and thermal properties into a building simulation software, were entered. The model with the measured data, was validated. Then, it was extrapolated for the month with the lowest outside temperature in order to predict its behavior and propose improvements.

Keywords: andean greenhouse, solar energy, solar thermal.