

Paper

Invernaderos eficientes para la región fría de la Puna de Salta. Estudio y Diseño de prototipos con participación ciudadana

Miguel, Sebastián; Avalos Ambroggio, Ana Sofía

samiquel@ucasal.edu.ar ; sofia.avalos@unc.edu.ar

Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Instituto de Sustentabilidad Energética y Diseño Bioambiental. Salta,
Argentina.

Línea temática 2. Escalas, proyectos y propuestas

Palabras clave

Invernadero, Puna, eficiencia, energía, tecnología

Resumen

La región de la Puna Argentina ha tenido, en las últimas dos décadas, un interés y desarrollo particular basado en las actividades mineras. El desarrollo urbano de los poblados y las infraestructuras que necesitan sus habitantes están siendo consideradas hace relativamente poco tiempo. Este trabajo plantea el diseño de infraestructuras para producción de alimentos y energía renovable a escala familiar y comunitaria en la Puna Argentina. Las condiciones adversas del clima y las características particulares de los suelos han llevado a proponer técnicas constructivas de invernaderos adaptados a los territorios de la región fría y al paisaje de la Puna. Asimismo, las condiciones de radiación solar son muy favorables para su aprovechamiento en el desarrollo de cultivos bajo techo y para la generación de energía eléctrica a través de energía solar fotovoltaica. Existen modelos y diseños de invernaderos que se

han reproducido por generaciones con saberes adquiridos y técnicas constructivas propias de la región. Se realizó un relevamiento de modelos de invernaderos existentes. Se propusieron dos modelos de invernaderos para la localidad Estación de Pocitos en la Provincia de Salta, que se integran a la conformación urbana. En este trabajo se muestra uno de los prototipos desarrollados. Se implementaron técnicas constructivas propias del sitio con re-elaboraciones tecnológicas para la optimización de la producción de alimentos y energía. El diseño de estos modelos de invernaderos fue desarrollado a través de la participación ciudadana con el objetivo poder construirse como prototipos a escala uno en uno y ser luego replicados en otros sitios de la región. Se realizaron simulaciones y estudios de eficiencia térmica para la conservación del calor y el aprovechamiento de la radiación solar. Las conclusiones indican que los modelos desarrollados permiten incorporar algunas innovaciones de diseño arquitectónico que logran mayor eficiencia térmica y mejoran la producción de alimentos y energía.

Introducción

A escala regional, los salares del sector cordillerano del Noroeste Argentino (NOA), particularmente en las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca, cuentan con un amplio recurso de minerales ubicados en sus cordones montañosos, sus lagunas y salares. La región de la Puna en la que se encuentran tienen una superficie territorial de unos 180.000 km², extendiéndose también fuera de los límites nacionales a los países vecinos de Chile y Bolivia, constituyendo el denominado "Triángulo del Litio". (Varela, 2012) Las políticas de Estado que se están aplicando y la inversión privada para la industria minera extractiva, sin dudas impacta sobre las comunidades que habitan estos territorios. Alonso (2017) representa a escala regional los salares y elementos geológicos de la Puna que permiten comprender las dimensiones territoriales y el interés de una multiplicidad de actores en este complejo territorio.

A nivel provincial, en la zona oeste de la provincia de Salta se encuentra el Departamento de los Andes con una altura promedio de 3.500 m.s.n.m. El municipio de San Antonio de los Cobres es la cabecera departamental y está vinculado con la localidad Estación Salar de Pocitos por la Ruta Nacional 51 a una distancia aproximada de 110 km. Los Andes tiene una población aproximada de 6.050 habitantes: 3.127 varones y 2.923 mujeres, de acuerdo a datos del Censo Nacional 2010 (INDEC, 2010)

Hoy en día se está transitando una reconversión económica con una muy baja acción sobre el fortalecimiento de las infraestructuras locales y mejoras en la calidad de vida de sus pobladores, que en gran parte tienen una relación directa o indirecta como forma de empleo o actividad de servicios de las empresas mineras. Por un lado, se desarrollan actividades ganaderas: se crían ovinos, caprinos y llamas para el autoconsumo. La agricultura familiar está fuertemente condicionada por las características climáticas de la región. Por otra parte, las comunidades encuentran en el sector minero otra fuente de trabajo: empresas con actividades exploratorias y las extractivas (que comprenden los yacimientos minerales que integran parte del circuito productivo provincial). Existen además otras fuentes de trabajo en menor escala como la construcción, vialidad, la seguridad, las actividades artesanales y las vinculadas al turismo. (Thames Cantolla et al, 2020)

En el extenso territorio de la Puna de Salta y Jujuy encontramos poblados y parajes de diferentes escalas que desarrollan pequeñas unidades productivas de alimentación: producción de verduras y hortalizas bajo invernaderos, carne de llama, leche y quesos de cabra, entre otros.

Las condiciones adversas del clima y las características particulares de los suelos han llevado a proponer técnicas constructivas de invernaderos adaptados a los territorios de la región fría y al paisaje de la Puna. Por otra parte, las condiciones de radiación solar son muy favorables para su aprovechamiento en el desarrollo de cultivos bajo techo y para la generación de energía eléctrica a través de energía solar fotovoltaica.

Por lo tanto, diferentes centros de investigación y organizaciones no gubernamentales se encuentran trabajando en estos territorios para acompañar a las comunidades en el desarrollo y el fortalecimiento de las actividades vinculadas al hábitat y las infraestructuras. Se valora a su vez, la cultura y los saberes tradicionales que permiten realizar nuevas lecturas territoriales y mejorar la calidad de vida de las comunidades promoviendo mitigar el impacto sobre el ambiente.

Antecedentes

El conocimiento de las diferentes zonas bioclimáticas que tiene la Argentina, permite poder dimensionar y caracterizar las necesidades de las envolventes de los invernaderos para la producción agrícola bajo cubierta. Las experiencias de prueba y error de cada productor también resultan ser un factor fundamental que se suman al manejo de los factores ambientales y del tipo de cultivo.

Los rendimientos de los cultivos hortícolas protegidos resultan dispares: en parte obedecen al manejo de las prácticas agrícolas y por otro lado a los sistemas constructivos y la eficiencia de los espacios protegidos de los cultivos. Esto último, determina que sea difícil mantener los valores de temperatura dentro de los rangos óptimos. Por lo tanto, los procesos de crecimiento pueden ralentizarse y comprometer los niveles y calidad de la producción. (Lenschak e Iglesias, 2019)

En la región bioclimática V: fría y VI: muy fría (IRAM 11601, 2002) existen diferentes tipos de invernaderos para la producción agrícola que tienen diversas características constructivas y en casi todos los casos se encuentran parcialmente enterrados para repararse de los vientos y de las bajas temperaturas.

Por lo tanto, a lo largo del territorio se han construido modelos y diseños de invernaderos que se han reproducido por generaciones con saberes adquiridos y técnicas constructivas propias de la región. Por lo general, se encuentran en los conjuntos escolares de los pueblos y parajes o en las proximidades de las viviendas rurales.

En la actualidad hay diferentes grupos de trabajo e investigación que han desarrollado modelos de invernaderos construidos en adobe y cubierta de polietileno mejorados para climas fríos. Son los casos de la Escuela albergue No. 4526 ubicada a 3.300 m.s.n.m. en El Rosal, Provincia de Salta, a 3300 m.s.n.m. (Echazú et al, 2004) y (Quiroga et al, 2016). Por otra parte, el caso de invernadero de altura con diseño andino mejorado en la localidad de Nazareno (Abdo et al, 2005).

A nivel regional (Argentina, Perú, Bolivia) se han desarrollado innumerables invernaderos semienterrados del tipo *walipini* (Iturri, 2002) que se caracterizan por el control climático y la optimización del régimen hídrico y térmico.

Por otra parte, se han desarrollado algunos prototipos de vivienda social para las regiones fría de la Puna que utilizan materiales locales como piedra, adobe y madera. Estos son los casos de las viviendas sociales de Cachi, Albergue escuela de El Alfarcito desarrollados por investigadores de INENCO-UNSA (Miguel, 2021) y el Conjunto de Viviendas bioclimáticas para San Antonio de los Cobres proyectado en 2022 por el equipo de ISEDIB-UCASAL (Miguel et al, 2022). En todos estos casos, se han utilizado estrategias de diseño bioclimático para la conservación del calor y el retardo de la pérdida de calor por masa de sus envolventes: muros y cubiertas. Se incorporan sistemas de calefacción pasivos aprovechando la radiación solar.

Metodología

1-Análisis de características climáticas de la localización de estudio.

Se realiza un análisis climático de la localidad de Estación Salar de Pocitos consultando diferentes fuentes de información, ya que la localidad no posee una estación meteorológica que registre datos climáticos. Los datos de temperatura, humedad relativa, frecuencia, dirección y velocidad de vientos son obtenidos de la base de datos climáticos del software Meteororm 8. Los valores de radiación solar se obtienen de la página web Sisol de la provincia Salta (Sarmiento Barbieri et al., 2017).

2-Relevamiento de antecedentes de invernaderos de la región.

Se realiza un relevamiento de invernaderos ubicados en varias localidades de la Puna de Salta y Jujuy. Para ello se utiliza una matriz de relevamiento que integra la siguiente información: 1) Localidad, 2) Ubicación (latitud, longitud y altitud), 3) Sistema constructivo: muros, cubierta y particularidades especiales. 4) Dimensiones del invernadero y 5) Orientación de la cubierta.

3-Propuesta arquitectónica del prototipo de invernadero mejorado.

A partir del relevamiento de antecedentes descriptos en el punto 1 de la metodología y de los diferentes talleres participativos realizados con la comunidad (indicados en el punto 4) se desarrolla una propuesta de prototipo de invernadero mejorado. Las pautas que se tienen en cuenta son: 1) la utilización de la mayor cantidad de materiales locales, 2) la integración de las condiciones climáticas analizadas y 3) la incorporación de pautas y estrategias para la conservación del calor durante los momentos críticos del año y las horas de baja temperatura del día.

4-Talleres participativos con la comunidad de Salar de Pocitos

El proyecto tuvo un desarrollo de seis meses en los que se organizaron tres talleres participativos con la comunidad para acompañar la evolución del proyecto. La Fundación Condor ha articulado este proyecto como organización social que trabaja para potenciar comunidades sostenibles en la Puna de Argentina. Fue la encargada de coordinar la realización de los talleres, convocando a los miembros de la comunidad y de financiar parte de la ejecución del proyecto que se presenta en este trabajo.

El Taller 1-Introducción: se inicia el proyecto y se recaba información. El Taller 2-Avances: propone la validación de propuestas de proyecto. El Taller 3-Verificaciones: plantea explicar integralmente el proyecto y evacuar consultas para su aprobación final.

5-Simulación y comportamiento térmico del invernadero.

Se realiza la simulación y comportamiento térmico del invernadero a través de sus envolventes. Por lo general se calcula la transmitancia térmica (K) y resistencia térmica (R) conforme al procedimiento de cálculo descrito en la Norma IRAM 11601 (2002) para régimen estacionario. Se verifica la envolvente con respecto a valores de niveles admisibles presentados en la Norma 11605 (1996). Los datos considerados para calcular valores admisibles son:

- Temperatura interior de diseño: 18°C,
- Temperatura exterior de diseño: -8°C,
- Humedad relativa exterior de diseño: 57%
- Humedad relativa interior de diseño: 90%

Para determinar los valores admisibles se debe tener en cuenta que los valores de niveles admisibles presentados en la Norma IRAM 11605 (1996) están definidos para espacios interiores habitables, con referencia a la zona de confort térmico experimentado por personas. En el presente análisis se desestima esta verificación ya que, al tratarse de un invernadero, la temperatura objetivo es la que necesitan los cultivos.

Los valores de temperaturas óptimas interiores que se requieren para la producción vegetal para zonas frías definidos por Lenscak e Iglesias (2019) se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: valores óptimos de temperatura para diferentes cultivos

Especie	T óptima nocturna (°C)	T óptima diurna (°C)
Tomate	13-16	22-26
Calabaza	15-18	24-30
Chaucha	16-18	21-28
Pimiento	16-18	22-28
Lechuga	10-15	15-20

Fuente: Elaboración de los autores. Información Lenscak e Iglesias (2019)

Por otra parte, se estima y verifica el retardo y amortiguamiento de la pérdida de calor de las envolventes del invernadero con el fin de estudiar que ocurre en los momentos del día en que no hay radiación solar. Para ello, se analizan los valores de amortiguamiento o atenuación (f_d), desfaseamiento o retardo (φ), transmitancia térmica periódica (Y_{ie}) y capacidad térmica del lado interno de la envolvente (K_1) de acuerdo al procedimiento descrito en la norma italiana UNI basada en ISO 13786 para régimen transitorio. Los valores admisibles son extraídos de la Guía Nacional de certificación de edificios del Ministerio de Medio Ambiente y Protección del Territorio y Mar, Italia (2007) y se indican en la Tabla 2.

Tabla 2: clasificación del estándar de la Norma ISO 13786 para determinar el tipo de retardo y amortiguamiento

	Retardo (φ)	Amortiguamiento (F_d)
Óptimo	$S > 12$	$F_d < 0.15$
Bueno	$12 > S > 10$	$0.15 < F_d < 0.30$
Medio	$10 > S > 8$	$0.30 < F_d < 0.40$
Suficiente	$8 > S > 6$	$0.40 < F_d < 0.60$
Mediocre	$6 > S$	$0.60 < F_d$

Fuente: Allegato, A: Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (2008)

6-Predimensionado de un sistema de producción eléctrica fotovoltaica.

Durante el Taller participativo 2 se definió realizar una instalación solar fotovoltaica que genere la energía eléctrica necesaria para el auto-consumo y permita la instalación de un pequeño espacio de cría de animales de granja adyacente al invernadero escolar. Esto permitirá que el nuevo recinto esté adecuado térmicamente a partir de lámparas infrarrojas. Asimismo, se prevén tomacorrientes para la carga de teléfonos celulares y para el uso de equipos eléctricos de poco consumo, ubicados en el mismo invernadero.

Para ello se debe seguir el siguiente protocolo:

- 1- Determinar el consumo eléctrico diario de acuerdo con una planilla de consumos de equipos.
- 2- Definir la cantidad de paneles solares fotovoltaicos de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_p = \frac{F_s \times I_d}{T \times I_p}$$

Donde (N_p) es la cantidad de paneles solares fotovoltaicos, (F_s) es el factor de seguridad rendimiento del panel +20%, (I_d) es el requerimiento diario, intensidad de corriente, consumo diario, (T) es el tiempo captación diaria según sitio e (I_p) determina la intensidad suministrada por el módulo fotovoltaico.

- 3- Cálculo de baterías

$$C = I_d \times A_u \times F_u$$

Donde (C) representa a la capacidad de la batería, (I_d) es el requerimiento diario, intensidad de corriente y consumo diario, (A_u) es la autonomía del sistema y (F_u) representa el factor de seguridad.

- 4- Selección del Inversor de potencia

La definición y dimensionado del inversor se realiza a partir de la potencia total de los artefactos a instalar de manera simultánea y por un día de 24 hs.

Resultados

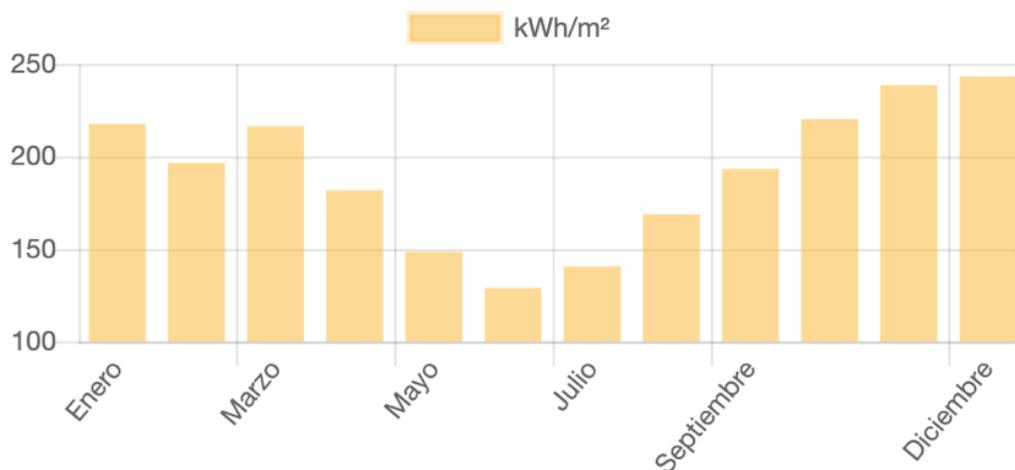
1-Análisis de características climáticas de la localización de estudio.

De acuerdo a la clasificación climática presente en la Norma IRAM 11603 (2011), Estación Salar de Pocitos está ubicada en la zona V, fría, en la zona de la Puna Salteña. El clima es seco y frío, con vientos fuertes y constantes, condiciones climáticas muy duras, especialmente en los meses invernales de junio, julio y agosto. Además, existe una gran amplitud térmica diaria, que puede alcanzar los 26° C, medias anuales inferiores a 8° C y mínimas

invernales inferiores a -10°C (INTA, 2003), lo que es consecuencia directa de la considerable altitud de su ubicación geográfica.

Se consultaron diferentes fuentes de información, ya que Estación Salar de Pocitos no posee una estación meteorológica que registre datos climáticos. Los datos de temperatura, humedad relativa, frecuencia, dirección y velocidad de vientos y radiación solar fueron obtenidos de la base de datos climáticos del software Meteororm 8 y comparados con diferentes fuentes. Los valores de radiación solar fueron comparados con datos obtenidos de la página web Sisol.Salta. (Tabla 3) En la misma se observa que durante los meses de primavera y veranos se llega a una radiación solar promedio mensual de 200 kWh/m² o más y el resto del año con radiaciones promedio mas bajas, que igualmente son aptas para su aprovechamiento.

Tabla 3: Radiación solar mensual promedio para Estación Salar de Pocitos



Fuente: <http://sisol.salta.gob.ar/>

Los valores de temperaturas medias mensuales fueron comparados con informes elaborado por el INTA (Paoli, 2003) y por las páginas WeatherSpark y TuTiempo.net.

Como se mencionó anteriormente, las temperaturas son frías a lo largo de casi todo el año. Las temperaturas medias mensuales se presentan resumidas en la Tabla 4 que compara datos obtenidos del informe INTA (2003) y el software Meteororm 8. Se puede observar que en el periodo cálido no superan los 12°C , mientras que en el período frío descienden a los 2°C .

Tabla 4: Temperaturas medias mensuales.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Meteonorm 8	12.0	11.5	10.6	8.6	6.4	5.0	4.4	6.4	7.9	10.1	11.2	11.9
INTA	11.0	10.8	10.0	7.5	4.2	2.3	1.7	3.9	6.0	8.2	10.0	10.6

Fuente: Elaboración propia en base a datos Meteonorm 8 y Paoli (2003).

La temporada de verano dura 5 meses, de octubre a de marzo. La temperatura máxima absoluta registrada de este período es de 26°C, mientras que la mínima absoluta es de -4.5°C. La temperatura máxima promedio diaria del período ronda los 14 °C. El mes más cálido del año es enero, con una temperatura máxima promedio de 16 °C y una temperatura mínima promedio de 1 °C. La temporada fría dura 4 meses, de mayo a agosto. La temperatura máxima promedio diaria es menos de 7 °C. El mes más frío del año es julio, con una temperatura mínima promedio de -9 °C y máxima de 5 °C.

El clima de Estación Salar de Pocitos es seco, por lo que presenta bajos niveles de humedad relativa. El período más húmedo coincide con los meses en donde las precipitaciones son más abundantes, de noviembre a marzo. La humedad relativa media para este período es de 50% aprox. Los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre presentan valores de entre 10% y 30%, siendo la humedad relativa media igual a 26%. El rango de humedad relativa de confort térmico está establecido entre el 20% y el 80% (Müller, 2002; Esteves 2017), por lo que puede decirse que los datos del período de invierno rozan el umbral inferior de las condiciones de confort. Con respecto al análisis de vientos, se presentan resultados obtenidos del procesamiento de datos de Meteonorm 8 con el software Climate Consultant 6. Los vientos predominantes son del sector sur. Por lo tanto, las edificaciones deben cerrarse en lo posible hacia esta orientación y protegerse en esa cara.

2-Relevamiento de antecedentes de invernaderos de la región.

El resultado del relevamiento (Tabla 5) permite sacar algunas conclusiones acerca de las técnicas constructivas para poder replicar las tecnologías de producción de alimentos bajo invernaderos en zonas frías de las localidades de la Puna de Jujuy y de Salta.

Tabla 5: Relevamiento de invernaderos de la Puna (Salta y Jujuy)

Localidad	ubicación			sistema constructivo			dimensiones		orientación cubierta
	latitud	longitud	altitud (m.s.n.m)	muros	cubiertas	particularidades	largo	ancho	
Paraje Cochagaste-Escuela, Jujuy	22°50'	65°54'	3507	adobe	chapa traslúcida	c/ cámara convección	4.00	9.00	Este
Paraje Cochagaste-Familia, Jujuy	22°50'	65°54'	3507	adobe	chapa traslúcida	semi enterrado	4.00	4.00	Norte
Abra Pampa-INTA-Edificio, Jujuy	22°48'	65°49'	3507	adobe	chapa traslúcida	c/ cámara convección	9.00	8.00	Norte
Abra Pampa-INTA-Modular, Jujuy	22°48'	65°49'	3507	polietileno	polietileno	estr.metálica modular	8.00	6.00	Norte y Sur
Estación Salar de Pocitos-Escuela, Salta	24°22'	66°59'	3666	adobe	chapa traslúcida	c/ cámara convección	10.00	7.00	Norte
Estación Salar de Pocitos-Familiar 1, Salta	24°22'	66°59'	3666	adobe	chapa traslúcida	semi enterrado	4.00	4.00	Norte
Estación Salar de Pocitos-Familiar 2, Salta	24°22'	66°59'	3666	madera	chapa traslúcida	no estanco	4.00	2.00	Este y Oeste
El Rosal- Escolar, Salta	24°23'	65°46'	3300	adobe	polietileno	c/ cámara convección	12.00	7.40	Norte

Fuente: Elaboración de los autores.

Los modelos desarrollados por auto-construcción son adecuados porque se integran con el entorno y resuelven las necesidades de producción familiar. Sin embargo, resultan a lo largo del tiempo con algunos problemas de deterioro por las inclemencias del tiempo y el uso de sistemas constructivos auto-portantes, sin estructura anti-sísmica, como el adobe. En estos casos, no se han tenido en cuenta los movimientos estructurales producidos por el viento, sismos o micro movimientos telúricos, como así también la falta de aislaciones hidráulicas en cimientos.

Las cubiertas por lo general se encuentran en buenas condiciones, pero existen algunas fugas de calor que reducen la conservación de una temperatura adecuada, sobre todo en horas de la noche cuando disminuyen las mismas.

En el caso del invernadero del edificio del INTA (Figura 1), la estanqueidad del interior, dada por la eficiencia de la envolvente, permite lograr temperaturas interiores adecuadas durante el día y la noche.

Figura 1: Invernadero del edificio del INTA, Abra Pampa, Jujuy.

Fuente: fotografías de los autores

El modelo de estructura metálica y envolventes de polietileno, también emplazado en la Estación INTA de Abra Pampa resulta interesante desde la perspectiva de contar con una estructura capaz poder armarse y desmontarse con facilidad en cualquier localización con suelo plano. Pero resulta con poco control de la radiación acumulada en el interior del invernadero lo que produce

un sobre calentamiento del aire que trae consecuencias sobre la producción. Este sistema podría mejorarse incorporando sistemas de ventilación cruzada inferiores y superiores y sombreando parte de las envolventes traslúcidas.

El caso del invernadero existente en la Escuela "7 de mayo" (Figura 2) es adecuado, pero tiene dimensiones no apropiadas por el tipo de materiales para la cubierta (estructura y chapas traslúcidas) lo que hace que tenga algunos problemas de colapso estructural. El edificio con parte de su desarrollo en altura bajo el nivel de la cota cero (a través de 3 escalones) resulta adecuado desde el punto de vista térmico. Con ello, se baja la altura general del edificio para enfrentar de manera más rasante a los fuertes vientos. Como desventaja tiene problemas de humedad de cimientos que deterioran la parte baja de los muros de adobe y piedra. Asimismo, no cuenta con capas de aislación hidrófuga que permitirían contrarrestar este problema.

Figura 2: Invernadero antiguo Escuela, Estación Salar de Pocitos, Salta.

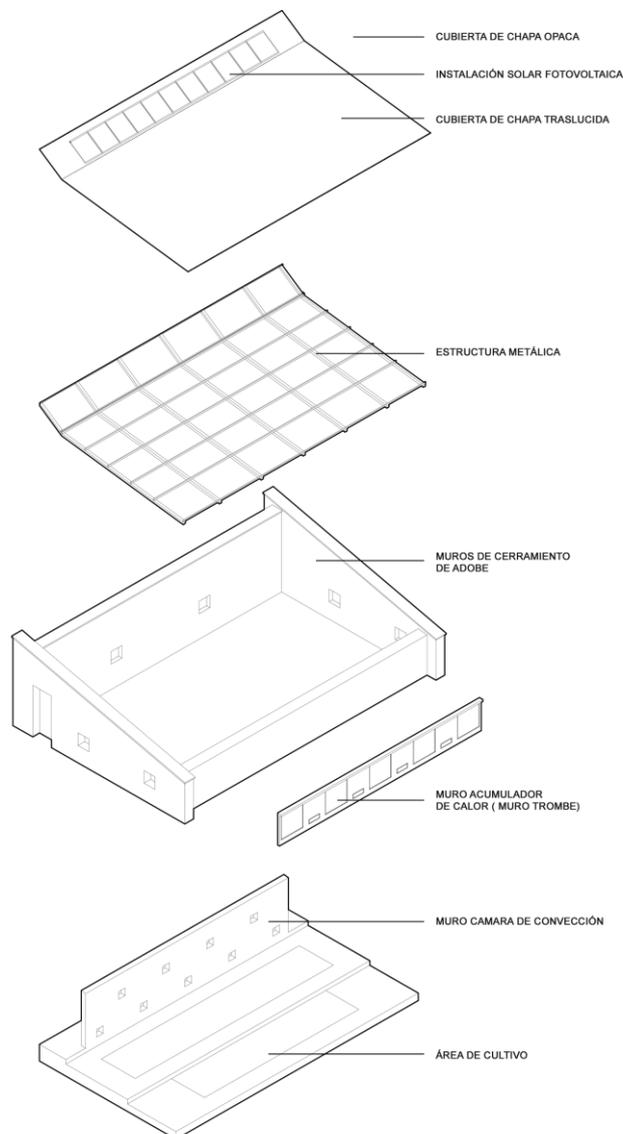


Fuente: fotografías de los autores

3-Propuesta arquitectónica del prototipo de invernadero mejorado.

En el primer Taller participativo se ha definido que el prototipo se ubicará en la escuela pública "7 de mayo" para reemplazar el viejo invernadero que tiene problemas estructurales y baja eficiencia térmica. Este nuevo invernadero servirá para producir alimentos que se utilizarán diariamente en el comedor escolar y a la vez funcionará como modelo educativo y de capacitación sobre actividades agroecológicas para toda la comunidad.

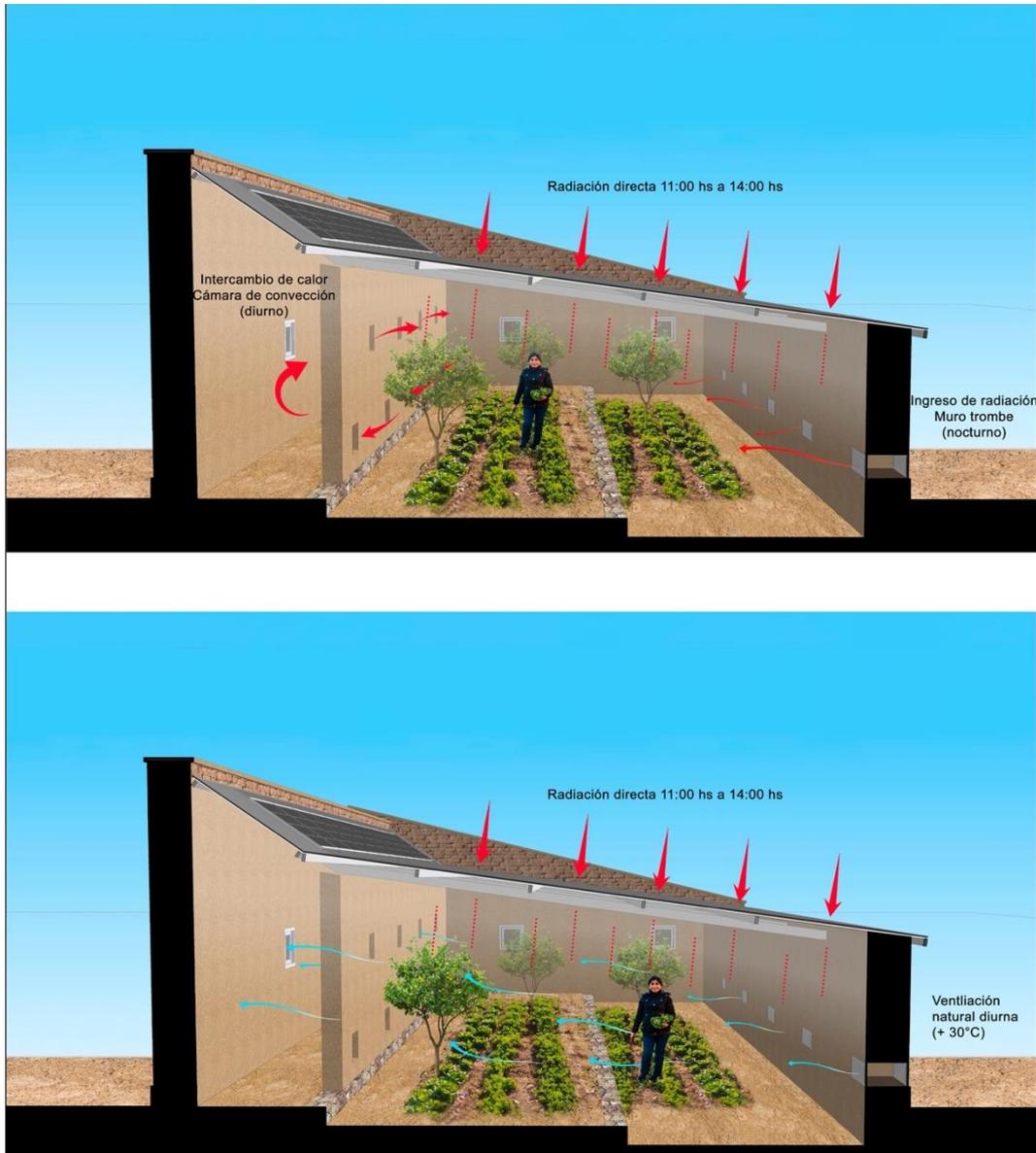
Se proponen envolventes verticales de adobe de 40 cm de espesor, la incorporación de una cámara de convección ubicada en la parte posterior (orientación sur) que se utilizará para mover el aire interiormente y así conservar mejor el calor durante las horas de la noche. Esto se realiza por medio de perforaciones altas y bajas que se practican en el muro divisor interno también realizado de adobe con un espesor de 20 cm. La cubierta se propone con una estructura de perfiles y caños de hierro y una terminación de chapa de policarbonato transparente. En las fachadas este, oeste y sur se ubican pequeñas aberturas de aluminio y vidrio para realizar ventilaciones cruzadas en épocas estivales. Se propone enterrar parte del espacio de cultivo en dos niveles de terraza de -18 cm y -36 cm de profundidad (Figura 3)

Figura 3: Prototipo invernadero. Despiece de partes componentes.

Fuente: Elaboración de los autores.

La inclinación de la cubierta se orienta con su parte baja al norte y sobre el muro exterior norte se ubican muros acumuladores de calor (muros Trombe) estancos para captar energía calórica y luego entregarlo al ambiente por radiación traspasando el muro en horas de la tarde/noche. Asimismo, se incorporan una serie de rejillas de ventilación móvil en la parte baja del muro norte para mejorar la ventilación y regular el exceso de calor que pudiera tener el interior del invernadero en los meses de verano. (Figura 4)

Figura 4: Prototipo invernadero. Cortes conceptuales que indican el funcionamiento de los sistemas.



Fuente: Elaboración de los autores.

En la fachada este se coloca una puerta de ingreso de chapa. El exterior del edificio se mantiene con los ladrillos de adobe a la vista con juntas tomadas y en la parte baja se coloca un muro de piedra perimetral que oficia de transición con la estructura de cimientos del edificio. Interiormente se revoca el edificio y se pinta con un color claro. La estructura del invernadero es de hormigón armado materializada con vigas de fundación, vigas superiores y columnas, que le otorgan al edificio la solidez necesaria y tienen en cuenta los posibles movimientos sísmicos que podrían producirse. En la parte posterior de la cubierta del invernadero escolar se ubica al norte una instalación de paneles solares fotovoltaicos para generación eléctrica por auto-consumo y acumulación en baterías.

4-Talleres participativos con la comunidad de Salar de Pocitos

Taller 1: Permitió validar las necesidades de producción bajo invernadero, recabar información acerca de las prácticas de producción habitual y comprometer a los habitantes a desarrollar este proyecto con su participación. Definición sobre desarrollar un prototipo para la escuela pública.

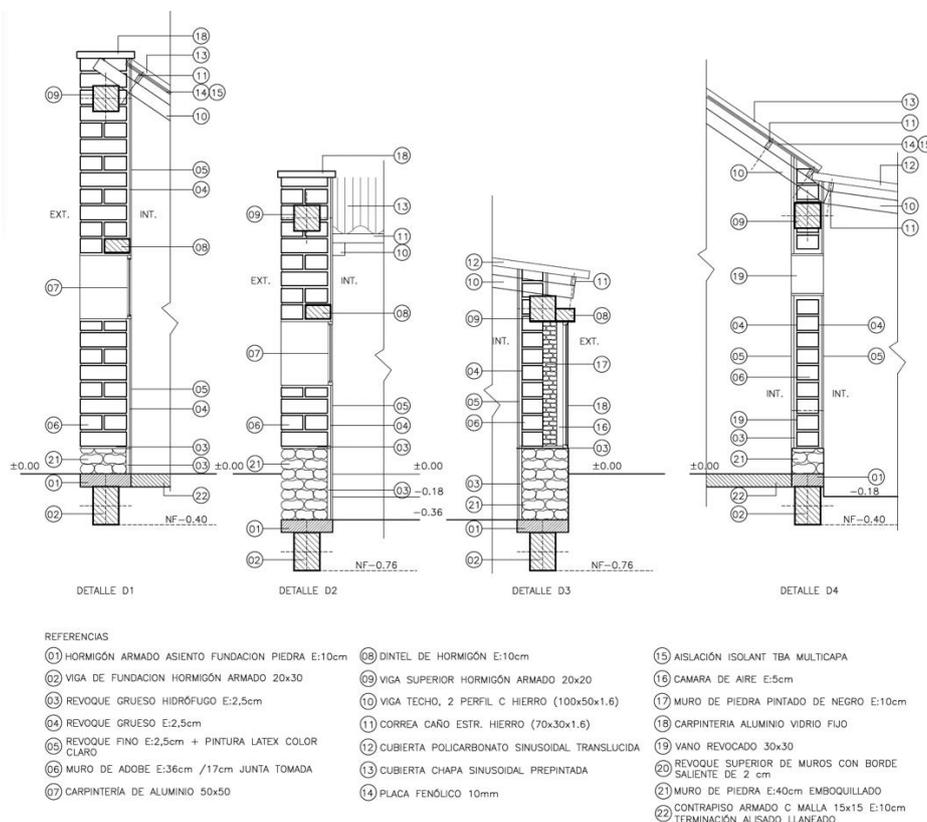
Taller 2: Acercó a la comunidad el proyecto a través de planos y maquetas a escala y fotomontajes para explicar su funcionamiento y las mejoras realizadas a los modelos conocidos a través de la incorporación de dispositivos para la generación y conservación del calor.

Taller 3: Se presentaron a la comunidad avances del funcionamiento del invernadero y se mostraron detalles constructivos en escala visitando el sitio de la ubicación final del invernadero.

5-Simulación y comportamiento térmico del invernadero.

A partir del desarrollo de los sistemas constructivos del invernadero, se han definido en escala las capas que componen las envolventes del edificio (Figura 5)

Figura 5: Prototipo invernadero. Detalles constructivos de las envolventes.



Fuente: Elaboración de los autores.

Esto permite que podamos identificar en líneas generales cinco sistemas constructivos que se sometieron al análisis del comportamiento térmico de sus envolventes: Muro S1: Sección por basamento de piedra, Muro S2: Sección por muro de ladrillo adobe, Muro S3: Sección por muro acumulador de calor (muro Trombe), Cub. C1: sección por cubierta de chapa traslúcida y Cub. C2: sección por cubierta de chapa opaca con aislación de la cámara de convección.

A continuación, se muestra el comportamiento de las envolventes al régimen transitorio (Tabla 6) Se han determinado para cada uno de los cinco tipos de envolventes los valores de amortiguamiento o atenuación (f_d), desfase o retardo (φ), transmitancia térmica periódica (Y_{ie}) y capacidad térmica del lado interno de la envolvente (K_1) de acuerdo al procedimiento descrito en la norma italiana UNI basada en ISO 13786 para régimen transitorio.

Tabla 6: Comportamiento de las envolventes del invernadero a régimen transitorio.

	Régimen TRANSITORIO				
	Amortig. (f_d) [-]	Retardo (φ) (horas)	Tran.TP (Y_{ie}) [W/m ² K]	Cap. Ter K1 [kJ/m ² K]	ISO 13786 (etiqueta IT)
Muro S1	0.16	10.88	0.38	66.60	Bueno
Muro S2	0.13	13.27	0.20	70.8	Óptimo
Muro S3	0.08	12.49	0.08	69.40	Óptimo
Cub. C1	0.99	0.24	3.93	4.06	Mediocre
Cub. C2	0.98	0.88	2.06	13.06	Mediocre

Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados demuestran que en el caso de los tres muros la etiqueta va desde *bueno* a *óptimo*, esto está representado en los valores de retardo de pérdida de calor interior que están en un rango aproximado 10 a 13 hs. Esto significa que el calor interior que se ha generado por incidencia de la radiación solar tanto desde la cubierta traslúcida como desde el muro acumulador nunca llega a agotarse en su totalidad porque vuelve a generarse al día siguiente.

Por otra parte, tanto la cubierta de chapa traslúcida del invernadero como la cubierta aislada oscura de la cámara de convección han arrojado una etiqueta *mediocre*. Esto significa que el retardo a la pérdida de calor es menor a una hora y es debido a los espesores de estas envolventes y a la baja capacidad de aislación de sus materiales componentes. Por lo tanto, el sistema debe evaluarse de manera integral para determinar cómo se comportan todas las partes componentes del invernadero.

Al cierre de este trabajo se está realizando una evaluación a través de otros softwares más complejos que permitirán determinar la eficiencia del edificio de manera global.

6-Predimensionado de un sistema de producción eléctrica fotovoltaica.

- 1- Consumo eléctrico diario de acuerdo con el consumos de equipos según se indica en la Tabla 7.

Tabla 7: Consumo eléctrico diario.

ARTEFACTO	CANTIDAD (unidad)	HS DE USO (hs)	POTENCIA (W)	POTENCIA ARTEFACTO (W)	POTENCIA TOTAL (Wh)
LAMPARA INFRARROJA PARA CRIADERO E27	6	8	150	900	7200
CARGA TELEFONO	2	3	15	30	90
TOMACORRIENTE USOS VARIOS	1	6	50	50	300
TOTAL				980	7590
				(W)	(Wh/día)

Fuente: Elaboración de los autores.

- 2- Determinación de la cantidad de paneles solares fotovoltaicos de acuerdo a la modelos comerciales disponibles.

$$N_p = \frac{F_s \times I_d}{T \times I_p} = \frac{1,20 \times 229,30}{4 \times 9,75} \quad I_d = 7590 \text{ Wh} / 33,1\text{V} = 229,30 \text{ Ah/día}$$

$N_p = 7,05$: por lo tanto, se adoptan 8 paneles solares fotovoltaicos de 320 W en paralelo.

- 3- Cálculo de baterías de acuerdo a modelos comerciales disponibles.

$$C = I_d \times A_u \times F_u = 229,30 \times 1 \times 1,6 = 366,88 \text{ Ah}$$

Se considera un 50% adicional de capacidad para que no ocurra la descarga total de la batería: 550,32 Ah.

Se selecciona una batería de 189 Ah. Por lo tanto, se adoptan 3 baterías en paralelo.

- 4- Selección del Inversor de potencia

La potencia total de los artefactos a instalar, simultánea y diaria es de 980 W. Por lo tanto, se selecciona un Inversor Sunny 4.4 de 3000 W

Conclusión

A escala territorial, las prácticas agroecológicas relevadas permiten recabar la información de tecnologías locales de producción y construcción edilicia adaptadas al clima frío de la Puna de Argentina. Estos insumos proporcionan indicadores y puntos de partida para rediseñar prototipos más eficientes integrando los conocimientos locales con análisis científicos realizados por la academia con el fin de optimizar los recursos.

La participación ciudadana a escala local, permite que las comunidades puedan apropiarse de las tecnologías y discutir en equipo cómo se desea que evolucione el tejido urbano y sus equipamientos. Para ello, los arquitectos participantes en este trabajo utilizan modelos a escala para una mejor interpretación de los sistemas que se proponen. Estos luego son validados a través de modelos simulados con diferentes recursos técnicos.

El edificio de invernadero también tiene la capacidad de incorporar un sistema de generación eléctrica a través de energías renovables como la solar fotovoltaica. Esto es posible a partir del diseño de las cubiertas con sus inclinaciones particulares y orientación hacia el norte para el mejor aprovechamiento de la radiación solar de los tres sistemas que tiene el invernadero: 1) radiación solar directa por la cubierta traslúcida, 2) radiación solar indirecta por el muro acumulador de calor y radiación solar directa para la captación y transformación en el sistema solar fotovoltaico.

El proyecto se encuentra al cierre de este trabajo en la aprobación de la documentación técnica y presupuestaria para ser construido en 2024.

Bibliografía

Abdo, E., Szanto, A., Echazú, R., & Quiroga, M. (2005). La difusión de invernaderos de altura con diseño mejorado en Nazareno, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.9

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*, Vol. 8, No. 1

EN ISO 13786 (2007) *Thermal Performance of building components. Dynamic thermal characteristics. Calculation methods*. Bruselas: CEN European Committee for Standardization.

Esteves, A. (2017). *Arquitectura bioclimática y sustentable. Teoría y práctica de la conservación de la energía, sistemas solares pasivos y enfriamiento natural de los edificios*. Mendoza.

INDEC, A. (2010). *Censo nacional de población, hogares y vivienda*. Buenos Aires. Argentina. Recuperado el 07/07/2023 de:
<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>

- IRAM 11601. (2002). Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM 11603. (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM 11605. (1996). Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Iturri, L. (2002) Manual de construcción y manejo del walipini y panqar huyu. Provo, Utah: Benson Agriculture and Food Institute Brigham Young University
- Lenscak, M. e Iglesias, N. (comp.) (2019) Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54). INTA Ediciones. Colección Investigación, desarrollo e innovación. Recuperado el 05/07/2023: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibliotecavirtualtodoeduca.com/wp-content/uploads/2021/12/Invernaderos.-Tecnologia-apropiada-en-las-regiones-productivas-del-territorio-nacional-argentino-1.pdf
- Miguel, S. (2021) Diseño bioclimático: Estudio de sistemas pasivos de calefacción en viviendas del noroeste de Salta. *Revista Argentina de Ingeniería RADI- Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería de la República Argentina*. Nro 18 – 2021
- Miguel, S.; Avalos Ambroggio, A.S.; Esteban, N.; Zingone, M. (2022) Desempeño termo-energético de un proyecto de viviendas sociales bioclimáticas en la puna, Salta. *Avances en Energías Renovables y Ambiente de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, Año 2022
- Müller, E. (2002). Manual de diseño para viviendas con climatización pasiva. Alemania: Forschungslabor für Experimentelles Bauen FEB - Universidad de Kassel, Alemania.
- Quiroga, M., Palacios, A., Hoyos, D., & Echazú, R. (2016). Estudio experimental de dos invernaderos andinos en El Rosal, Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 20. pp. 02.21-02.29
- Sarmiento Barbieri, N.; Belmonte, S.; Dellicompagni, P.; Franco, J.; Escalante, K. (2017). Atlas de Radiación Solar de la Provincia de Salta. Sistema de Información Geográfico Digital. Grupo: Planificación Energética y Gestión Territorial. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional. CONICET-UNSa. Salta. Argentina. Recuperado el 25/07/2023: <http://sisol.salta.gob.ar/>
- Thames Cantolla, M.; Valdez, S.; Tinte Montalbetti, M. (2020) La industria del litio en la Puna Salteña: Impacto en la calidad de vida. *Revista de Ciencia y Tecnología*. Nro.34: pp. 1-10.

Varela, L. (2021) Paisajes Salinos, de la invisibilidad a la gestión. Una mirada necesaria en la Argentina contemporánea. En: *Paisajes de la Sal en Iberoamérica. Cultura, Territorio y Patrimonio* (pp. 209-226) Instituto Juan de Herrera: Madrid.