Adecuación de técnicas de construcción de invernáculos para las condiciones climáticas del centro norte de Chubut. Parte I: Detalle Constructivo

Adaptation of greenhouse construction techniques to the climatic conditions of north-central Chubut. Part I: Construction Detail

Carmona Vivona, F.[1] y Rimoldi, P.[1]

fjcarmonavivona@udc.org.ar, porimoldi@udc.edu.ar

[1] Universidad del Chubut. Av. San Martín 293 (9103) Rawson – Chubut.

Recibido 03/06/2026; Aceptado: 29/09/2026

Resumen. En los pueblos de la meseta chubutense la principal actividad económica es la ganadería extensiva ovina y caprina. Esta actividad ocupa escasa mano de obra y hoy transcurre una retracción producto de la problemática ambiental (desertificación, sequías extraordinarias, erupciones volcánicas, incidencia creciente de los predadores) y de la pérdida de valor relativo de la lana y la carne. Hasta que no se remuevan las fuertes limitantes existentes en provisión de energía (potencia), accesibilidad y conectividad, es poco esperable que nuevas actividades económicas prosperen. Esto determina que la población sobreviva con grandes dificultades esta pobreza estructural, para la cual la autoproducción de alimentos puede ser un alivio importante. En ese sentido el desarrollo de estructuras de invernáculos que se adapten a las limitantes climáticas puede ser un auxilio de interés. Los intentos de difundir las prácticas de producción de alimentos bajo cubierta en zonas ventosas y frías como la meseta chubutense, han fracasado por la adopción de modelos desarrollados en zonas templadas y sin restricciones fuertes de factores como el viento y la nieve. La propuesta de experimentación adaptativa de numerosas prácticas desarrolladas en ambientes extremos y su adecuación a la realidad socio-económica de la zona significará un aporte creativo y original al mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores, que podrá integrarse a una nueva lógica de construcción en la meseta, que recupere la funcionalidad del adobe en función de la mayor eficiencia energética, y que integre una dependencia productiva al diseño de los nuevos hogares.

Palabras-clave: invernáculos soterrados; adobe; condiciones climáticas extremas; autoproducción de alimentos; meseta central de Chubut.

Abstract. In the villages of the Chubut plateau, the main economic activity is extensive sheep and goat farming. This activity employs relatively little labor force and is currently experiencing a decline due to environmental problems (desertification, extreme droughts, volcanic eruptions, and the increasing impact of predators) and the declining relative value of wool and meat. Until the severe constraints on energy supply (available power), accessibility, and connectivity are overcome, new economic activities are unlikely to flourish. Consequently, the population struggles with this structural poverty, which food self-production could help alleviate. In this regard, the development of greenhouse structures adapted to climatic constraints could provide significant support. Attempts to promote food production practices under cover in windy and cold areas such as the Chubut plateau have failed due to the adoption of models developed in temperate zones where factors such as wind and snow do not impose severe constraints. The proposed adaptive experimentation with numerous practices developed in extreme environments and their adaptation to the area's socioeconomic conditions could make a creative and original contribution to improving the quality of life of residents. This contribution could be integrated into a new approach to construction on the plateau, restoring the functionality of adobe to achieve greater energy efficiency and integrating a dedicated food-production space into the design of new homes.

Keywords: underground greenhouses; adobe; extreme climatic conditions; food self-production; central Chubut plateau.

Introducción

En las regiones frías y ventosas del mundo, donde la agricultura tradicional enfrenta desafíos significativos, los invernáculos soterrados emergen como una solución innovadora y sostenible para la producción de alimentos (Benson Agriculture and Food Institute, 2002; Marandi et al., 2022). Estas estructuras, construidas parcialmente bajo tierra, aprovechan las ventajas del aislamiento térmico natural del suelo y proporcionan un ambiente controlado ideal para el cultivo, incluso en condiciones climáticas adversas (Ahsan et al., 2024; Tennakoon, 2009).

El cultivo en regiones frías está marcado por inviernos prolongados, fuertes vientos y temperaturas que pueden alcanzar valores extremos (González, 2012). Estas condiciones limitan drásticamente la temporada de crecimiento y dificultan la supervivencia de los cultivos expuestos al exterior. Aquí es donde los invernáculos soterrados desempeñan un papel crucial: al proteger las plantas de las inclemencias del tiempo y al estabilizar la temperatura interna (Ramos-Buriticá et al., 2021), permiten extender la temporada de cultivo y mejorar tanto la calidad como la cantidad de las cosechas (von Zabeltitz, 2011).

Estructuras tubulares de medio caño, muy populares y útiles en el centro y norte del país, no aportan soluciones ante las condiciones ventosas de la meseta Chubutense (Figura 1). De igual manera fracasa la utilización de policarbonato alveolar y chapa traslúcida como cobertura (Figura 2).

Además, los invernáculos soterrados tienen un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental. Al depender menos de fuentes externas de energía para calefacción, gracias al aislamiento térmico que

proporciona el suelo, contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y disminuyen los costos operativos (Ahsan et al., 2024; Marandi et al., 2022). También permiten el cultivo local de alimentos frescos y fortaleciendo la seguridad alimentaria en comunidades remotas y vulnerables (Altieri y Nicholls, 2018; Pretty et al., 2003).

Figura 1.

Invernáculo túnel de caño, con revestimiento de polietileno desgarrado por el viento.



A medida que el cambio climático intensifica las condiciones climáticas extremas, la implementación de invernáculos soterrados se convierte en una estrategia imprescindible (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022). Su diseño eficiente y su capacidad de adaptación los posicionan como una herramienta clave para enfrentar los desafíos globales de la producción de alimentos en un mundo cambiante (Lal, 2013; von Zabeltitz, 2011).

Figura 2.

Invernáculo con techo de policarbonato alveolar y flancos de chapa traslúcida.



Estrategias de aislamiento térmico y diseño bioclimático en invernáculos en climas templado-fríos

El diseño térmico de invernaderos en zonas templado-frías requiere una integración inteligente de estrategias pasivas, materiales con baja conductividad y aprovechamiento de la energía geotérmica superficial. Diversos estudios han abordado estas soluciones desde enfoques arquitectónicos, agronómicos y energéticos, aportando evidencia útil para su aplicación en contextos como la Meseta Central Chubutense.

Soterrado y masa térmica. El concepto de invernadero parcialmente enterrado —como el modelo Walipini— aprovecha la inercia térmica del suelo para estabilizar las temperaturas internas. Según el Benson Agriculture and Food Institute (2002), este tipo de estructura permite mantener temperaturas superiores a 10 °C en invierno sin calefacción activa, gracias al aislamiento natural del terreno y la orientación solar optimizada. Tennakoon (2009) propone un modelo inteligente de invernadero subterráneo con control difuso, que ajusta automáticamente la ventilación y el sombreo según las condiciones internas, mejorando la eficiencia térmica y reduciendo el consumo energético.

Ventilación geotérmica. Los sistemas de ventilación geotérmica tipo pozo canadiense han demostrado ser efectivos para climatizar espacios mediante el intercambio térmico entre el aire y el subsuelo. Mijares Almanza et al. (2023) evaluaron este sistema en viviendas, observando una reducción significativa de la temperatura interior en verano y un aumento en invierno, sin consumo eléctrico directo. Ahsan et al. (2024) revisan su aplicación en invernaderos, destacando que los intercambiadores aire-tierra (EAHE) pueden reducir hasta un 50 % el consumo energético en climas extremos, si se instalan a profundidades óptimas (3 m) y se integran en sistemas semicerrados.

Dobles cubiertas y aislamiento perimetral. Ferrato et al. (2022) evaluaron el uso de dobles techos y túneles bajos con materiales aluminizados y polietileno térmico en invernaderos de frutilla. Los resultados mostraron aumentos de temperatura de hasta 6 °C respecto al testigo, siendo los túneles bajos

más efectivos que los dobles techos. González (2012) estudió el efecto del aislamiento perimetral en un invernadero de Bariloche, observando mejoras sustanciales en la temperatura del suelo durante otoño e invierno, lo que favorece el desarrollo radicular y reduce el estrés térmico.

Diseño bioclimático integrado. Los principios de la arquitectura solar y bioclimática, desarrollados por autores como Szokolay (1983), Evans y de Schiller (1988), y Gonzalo (2004), aportan criterios fundamentales para el diseño de envolventes térmicas eficientes. Estos incluyen la orientación solar, el uso de materiales con baja conductividad, la incorporación de masa térmica y la ventilación cruzada. Burberry (1978) enfatiza la importancia de minimizar los puentes térmicos y optimizar el aislamiento en zonas críticas como zócalos, techos y cerramientos.

En 2023 y en respuesta a una iniciativa de la Fundación "El Páramo", un equipo técnico de la Universidad del Chubut (UDC) desarrolló y presentó este proyecto a la convocatoria de Proyectos Federales de Innovación, del Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (COFECyT). El subsidio obtenido se ejecutó durante el año 2024, para lo cual se diseñó una estructura piloto de 6x4 metros.

Objetivos del diseño

La finalidad general consistió en desarrollar y evaluar, con activa participación de las comunidades, diferentes técnicas constructivas y materiales que doten a los invernáculos de solidez frente al viento y la nieve, así como mejorar el aislamiento térmico y la hermeticidad, evaluando la eficiencia energética lograda. Para ello, el diseño estructural e ingenieril respondió a las siguientes premisas específicas:

- Reducir la exposición directa al viento.
- Reducir el volumen interno de aire a aislar.
- Capitalizar el efecto del suelo como morigerador de las temperaturas extremas (inercia térmica).
- Revalorizar el uso del adobe como material de edificación eficaz, económico y de tradición local, combinado con piedra de la zona.
- Evaluar técnicas de soterrado práctico aprovechando el relieve topográfico.
- Reciclar y aprovechar aislantes locales residuales (lana, fibras, residuos del lugar).
- Probar métodos de calefacción pasiva y bajo costo (estufas de alto rendimiento, doble pared con circulación de aire, climatización geotérmica, camas calientes por fermentación de materia orgánica y biogás).

Materiales y métodos

Reseña Geográfica y Climática de la Región de Estudio

El área de estudio se inscribe en la provincia fitogeográfica de la Estepa Patagónica, caracterizada por un clima templado-frío y árido de meseta (González, 2012). La región presenta fuertes restricciones

ambientales para el desarrollo agrícola tradicional a la intemperie, signada por una extrema amplitud térmica, escasas precipitaciones y la incidencia persistente de vientos desecantes de alta intensidad.

A continuación, se detalla la reseña geográfica y climática de las tres localidades de la Meseta Central Norte de la provincia de Chubut.

Gastre

Localización y Coordenadas. Se sitúa en el noroeste de la meseta central chubutense (Cabecera del Departamento Gastre), a una altitud media de 915 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 42°15’54” S y 69°13’11” O (Instituto Geográfico Nacional [IGN], 2024).

Temperaturas. La temperatura media anual ronda los 8,5 °C. Presenta veranos moderados con temperaturas máximas promedio de 23 °C (enero) y picos absolutos que pueden rozar los 30 °C. Los inviernos son rigurosos, con una temperatura media en julio de 1,5 °C, mínimas promedio de -2 °C y mínimas absolutas históricas que alcanzan los -15 °C. El período libre de heladas es sumamente corto (Weather Spark, 2026).

Precipitaciones. El régimen es marcadamente árido, con un acumulado anual medio que oscila entre los 140 mm y 170 mm. Las precipitaciones se concentran principalmente en los meses fríos (mayo a agosto) combinando lluvias de baja intensidad con frecuentes eventos de caída de nieve (Weather Spark, 2026).

Vientos (intensidad y frecuencia). Gastre se encuentra expuesto a condiciones ventosas durante todo el año. Los vientos predominantes provienen de los cuadrantes Oeste (O) y Sudoeste (SO). La velocidad media anual supera los 22 km/h, pero en primavera y verano se registran ráfagas máximas recurrentes que superan de forma regular los 70 km/h y 90 km/h, actuando como el principal factor de daño mecánico estructural.

Lagunita Salada

***Localización y Coordenadas*.** Localidad y comuna rural ubicada en el corazón del Departamento Gastre, a unos 747 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas de referencia son 42°44’35” S y 69°08’49” O (Consejo Federal de Inversiones [CFI], 1998; IGN, 2024).

***Temperaturas*.** La temperatura media anual es de 9 °C. El mes más cálido (enero) registra una media de 16 °C, mientras que el mes más frío (julio) desciende a una media de 2 °C. Posee una marcada amplitud térmica absoluta de 57 °C: con máximas estivales que llegan a los 37 °C y temperaturas mínimas invernales extremas inferiores a los -20 °C. Registra más de 60 días de heladas agrometeorológicas al año (CFI, 1998).

***Precipitaciones*.** El promedio anual total es de apenas 150 mm, lo que determina un profundo déficit hídrico dado que la evapotranspiración potencial calculada para la zona es de 625 mm (CFI, 1998).

Vientos (intensidad y frecuencia). Presenta una persistencia de vientos moderados a fuertes provenientes del cuadrante **O**-**SO**. La frecuencia e intensidad se incrementan sustancialmente durante la transición primavera-estival, donde la velocidad del flujo eólico promedio se eleva, provocando una alta tasa de desecación del suelo superficial (CFI, 1998).

Yala Laubat

***Localización y Coordenadas*.** Aldea escolar y paraje rural dependiente de la comuna de Lagunita Salada, situada en el margen oriental de dicha jurisdicción, a una altitud de 957 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son **42°45’35” S y 68°51’59” O** (IGN, 2024).

Temperaturas. Comparte el patrón de comportamiento de Lagunita Salada pero condicionado por su mayor altitud. La temperatura media en el trimestre invernal oscila en los 3 °C, registrándose mínimas absolutas de hasta -14 °C y medias estivales que no suelen superar los 21 °C (Meteored, 2026).

Precipitaciones. Ligeramente inferiores a la cabecera departamental, estimadas entre **130 mm y 150 mm anuales**. Se configuran mayormente como nevadas invernales que cubren el suelo de la meseta e impiden el trabajo del suelo ex situ durante semanas (Meteored, 2026).

Vientos (intensidad y frecuencia): Altamente expuesta por la topografía llana de su entorno de meseta. Los vientos del Oeste y Noroeste (NO) dominan el panorama climático. La velocidad media se sitúa en los 18 km/h, con ráfagas estacionales máximas de viento que alcanzan valores de entre 65 km/h y 80 km/h en eventos de temporal (Meteored, 2026).

En función de estos objetivos se diseñó una estructura que garantizara resistencia y aislamiento térmico (Fig. 3).

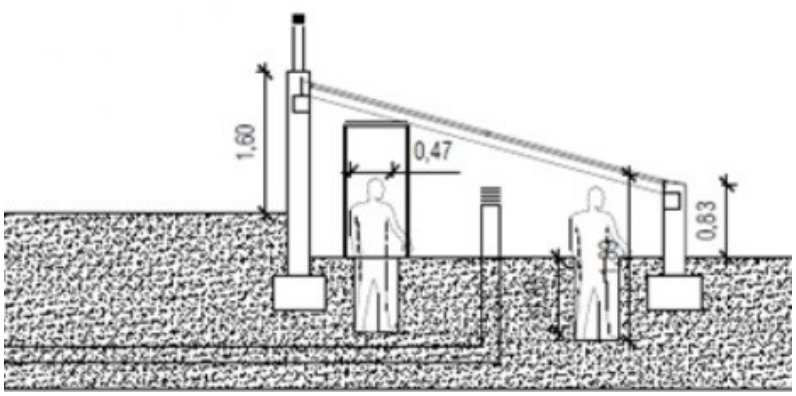
Etapas y pasos constructivos

En las tres localidades de la meseta central de Chubut donde se desarrollaron las estructuras experimentales, se siguieron sistemáticamente los siguientes procedimientos técnicos:

Definición del sitio. Consiste en seleccionar el terreno considerando su capacidad portante y la cohesión del suelo para permitir excavaciones estables sin desmoronamientos. Es ideal contar con suelos compactos, no extremadamente arcillosos (preferentemente calcáreos con granulometría graduada), realizando excavaciones mínimas de prueba para descartar formaciones rocosas masivas. Topográficamente, se buscaron sitios con pendientes naturales que no superasen el 25%.

Figura 3.

Diseño del invernáculo patagónico.

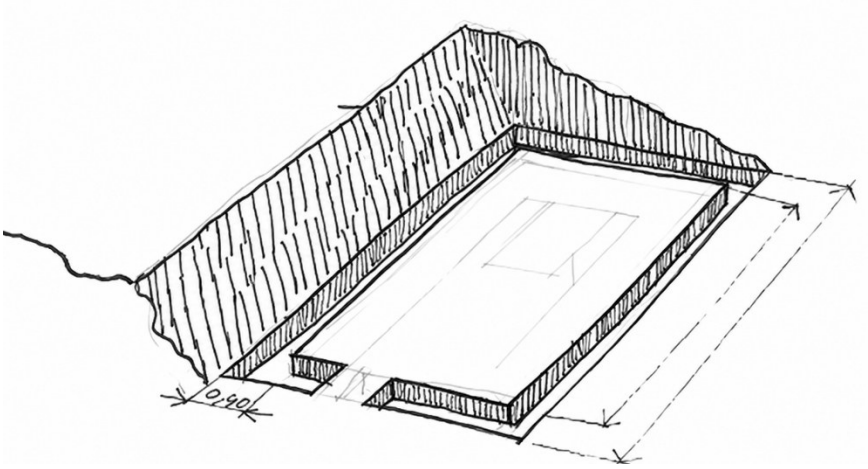


Orientación. Factor clave para evitar los vientos predominantes del oeste (O), principales causantes del deterioro estructural en la región. Se determinó como óptima la orientación hacia el noreste (N-E), la cual combina una mejor aerodinámica contra el viento con un aprovechamiento prolongado de la radiación solar desde las primeras horas de la mañana, evitando asimismo la inercia térmica excesiva en la temporada estival.

Excavaciones y cimientos. Al hallar la pendiente óptima expuesta al este o noreste se perfiló el terreno para enterrar parcialmente la pared oeste y parte de la pared sur (Figura 4). Se excavaron las bases perimetrales para un encadenado inferior resistente con una sección aproximada de 40 x 40 cm

Figura 4.

Esquema de excavación, con el corte de la pendiente en dirección NE.



(reforzado con hierros de 8 y 10 mm de sección y estribos de 6 mm de sección, cada 25 cm) (Figura 5). En el vano de la puerta no se volcó hormigón de base para permitir el posterior empalme de las trincheras de paso; estas últimas se excavaron por debajo del nivel de fundación para facilitar la circulación interior a nivel de pasillo y conformar los bancales elevados de cultivo lateral.

Figura 5.

Esquema del corte transversal de la base.

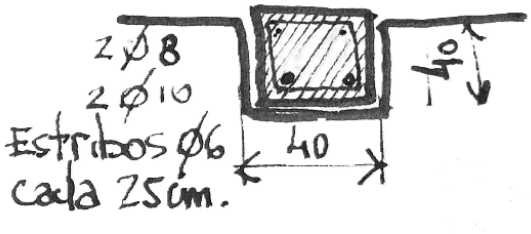


Figura 6.

Soterrado de la estructura capitalizando la topografía en una pendiente expuesta al E.

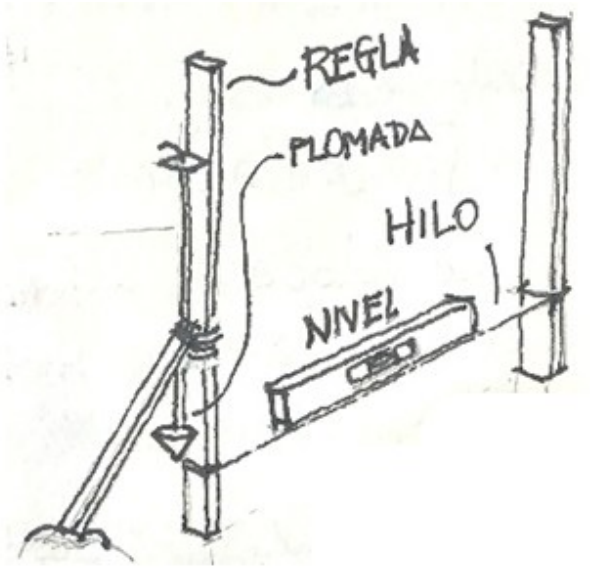


Uso y preparación del adobe. El adobe actuó como insumo estructural y de cerramiento debido a su baja conductividad térmica, su nula huella de carbono de transporte y su aceptación cultural en la zona. Para evitar fletes costosos por caminos no pavimentados, se elaboraron en las proximidades aprovechando los suelos arcillosos homogéneos de Lagunita Salada combinados con bosta de caballo. Se verificó un curado y fraguado óptimo, homogeneidad en la mezcla y protección contra el congelamiento nocturno para evitar que las piezas se disgregaran.

Elevación de muros. Se colocaron reglas fijas aplomadas con soportes de madera e hilos nivelados (Figura 7). Los adobones se asentaron y consolidaron con una mezcla de suelo y cemento en

Figura 7.

Uso de regla y nivel.



proporción 1:4 cuidando de no sobrecargar con agua. Para lograr la pendiente del techo, se ejecutaron 5 hiladas adicionales en el muro sudoeste, orientando la caída hacia el noreste. Sobre la última hilada se realizó un encadenado superior de hormigón (20 cm de alto por el ancho del adobe) con hierros de 10 mm de sección y estribos de 6 mm de sección cada 20 cm, dejando pelos de hierro dulce o alambre de 60 cm para anclar los tirantes de madera de la cubierta. Tras colocar la tirantería, se rellenaron los intersticios con adobes y se adicionó una hilada superior de apriete en los laterales y el muro posterior, dejando libre la caída en la zona baja para el drenaje de agua y condensados.

Colocación del techo. La cubierta se ejecutó con placas de policarbonato alveolar, orientando las cámaras de aire longitudinales en sentido descendente de la pendiente para evitar la acumulación de humedad por condensación. Las placas se apoyaron sobre clavadores de 2”x2” distanciados cada 60 cm, montados sobre una estructura de madera principal cada 1 m o 1,5 m. Para evitar que la succión del viento arrancara o punzonara el policarbonato por la cabeza de los clavos espiralados con cabeza de plomo, se dispuso un listón superior de madera de 1” x 2” en sentido perpendicular a los clavadores, distribuyendo la fuerza de sujeción en una mayor superficie. Complementariamente, se realizó un arriostre de alambre entre los clavos antes del remachado final.

Figura 8.

Fijación del techo de policarbonato alveolar.



Ventilación geotérmica (Pozo Canadiense). Se excavaron pozos verticales de 1,80 m de profundidad en terrenos adyacentes, utilizando una estructura de apuntalamiento basada en cuatro pallets trabados entre sí para prevenir desmoronamientos y proteger al operario. Desde el fondo del pozo se conectó un conducto de PVC vertical hacia el exterior para la toma de aire, y otros conductos horizontales que se introdujeron de forma subterránea hacia el interior del invernáculo, pasando por debajo de los cimientos. Mediante codos de 90°, estos caños emergen verticalmente en el bancal central aportando aire a temperatura morigerada por el subsuelo tanto en invierno como en verano. La boca superior del pozo se selló con un pallet horizontal y una cobertura de tierra compactada. (Figuras 9 y 10).

Figura 9.

Esquema del,Pozo Canadiense Adaptado.



Figura 10.

Detalle constructivo Pozo Canadiense adaptado.



Los pasillos, por donde se desplaza el operario, deben ser tablestacados para evitar desmoronamientos producto del movimiento de tierra y/o el riego (Figura 11).

Figura 11.

Detalle del tablestacado de pasillos – trinchera.



Resultados y discusión

Los invernáculos tradicionales, con cubierta de polietileno LDT de 150 o 200 micras, cumplen correctamente la función de retener la radiación y elevar la temperatura durante el día, pero no lograrían aislar el ambiente interno del externo de una forma significativa, salvo en alguna medida por el bloqueo del viento (Baille, 1999; von Zabeltitz, 2011). En registros propios de los autores, en los meses de junio y julio de 2025 en el VIRCh, se comprueba que las temperaturas se igualan desde la puesta del sol y hasta bien entrada la mañana siguiente, sin morigeración alguna del efecto de heladas. En las condiciones más rigurosas de la meseta centro norte de Chubut, esto implica la imposibilidad de producir al menos durante cuatro meses al año desde mayo a agosto (González, 2012). En algunos casos se ha probado reemplazar el polietileno por policarbonato, pero no se registraron mejoras significativas en la producción, aunque sí en la confiabilidad y durabilidad de la cubierta ya que el polietileno no soporta la intensidad del viento de la meseta (Barros et al., 2018; Lara, 2010).

El aislamiento térmico del volumen interior de un invernáculo no sólo debe proteger a las hortalizas del efecto necrosante de la helada, sino que debe morigerar efectivamente la amplitud térmica que complica funcionalmente a los vegetales impactando en el resultado productivo (Salisbury y Ross, 2000; Taiz y Zeiger, 2006).

Es poco probable que un solo método pueda cumplir con el objetivo que se persigue de adecuar el ambiente interior de los invernáculos a las condiciones óptimas de crecimiento de las plantas. Sin embargo se apuesta a la sumatoria de efectos para el control térmico del interior del invernáculo (Gonzalo, 2004). El soterrado que se pueda lograr en forma práctica y económica (no hay un único soterrado), deberá complementarse con la capacidad aislante del adobe donde deban construirse muros y la ventilación geotérmica como auxilio para el control de temperaturas extremas en el aire que ingrese al invernáculo (Ahsan et al., 2024; Benson Agriculture and Food Institute, 2002; Mijares Almanza et al., 2023).

Este enfoque integrado guarda coherencia con lo observado por González (2012) en Bariloche, donde el aislamiento de veredas perimetrales y zócalos extendió el ciclo productivo al proteger el sistema radicular en invierno.

Dado que las estructuras se encuentran en fase de estabilización y aún se están recopilando datos continuos de la evolución microclimática interna, se prevé que ante heladas extremas extraordinarias estas medidas estructurales deban complementarse con sistemas de protección interna de baja escala. En concordancia con las evaluaciones de Ferrato et al. (2022) en zonas templadas-frías, la instalación suplementaria de microtúneles nocturnos con cubiertas de polipropileno o poliuretano aluminizado sobre los bancales resulta sustancialmente más eficiente que la adición de techos dobles fijos, ya que confina y preserva el calor diurno acumulado en el suelo en un espacio de aire significativamente menor.

Conclusiones

Las propuestas constructivas y de protección a las bajas temperaturas implementadas en este trabajo son un avance significativo hacia el objetivo de extender la producción bajo cubierta en condiciones climáticas severas como las de la Meseta Central de Chubut. Las mismas deberán ser evaluadas en cuanto a las temperaturas efectivas que se logran en el ambiente interno y el efecto directo sobre la productividad de las hortalizas. Sobre esto último ya hay claros indicadores del aislamiento térmico en el invernáculo de Yala Laubat que al primero de junio presenta acelga, lechuga y espinaca en activo crecimiento, a pesar de las intensas heladas que soporta la zona en el último mes.

Figura 12.

Imágenes de producción del 1 de junio de 2026 en el invernáculo de Yala Laubat, sin calefacción.



Agradecimientos

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Subsecretaría de Promoción y Recuperación del Empleo, al Ministerio de la Producción, a la Secretaría de Ciencia e Innovación Productiva y a la Subsecretaría de Asuntos Municipales de la Provincia de Chubut por la valiosa colaboración técnica. Asimismo, reconocen el apoyo logístico brindado por las autoridades comunales de Lagunita Salada y Gastre, dedican un póstumo y sentido homenaje a Sergio Espinoza de la Fundación “El Páramo”, por su incansable entusiasmo en la generación de alternativas socio-productivas para la meseta. Este trabajo fue financiado parcialmente a través de un Proyecto Federal de Innovación (PFI) otorgado por el Consejo Federal de Ciencia y Técnica (COFECyT).

Referencias bibliográficas

Ahsan, T. M. A., Rahman, M. S., & Ahamed, M. S. (2024). Geothermal energy application for greenhouse microclimate management: A review. *Geothermics*, 118, 103209.

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2018). Urban agroecology: Designing resilient urban food systems.*Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 1-11.

Baille, A. (1999). Greenhouse microclimate and its management in mild winter climates. *Acta Horticulturae*, (491), 23-36.

Barros, J. A., Montero, J. I., & Muñoz, P. (2018). Análisis térmico nocturno de materiales de cubierta rígidos y flexibles en zonas de alta radiación y bajas temperaturas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 145-158.

Benson Agriculture and Food Institute. (2002). *Walipini Construction (The Underground Greenhouse)* (Revised ed.). Brigham Young University.

Burberry, P. (1978). *Ahorro de energía*. Editorial Hermann Blume.

Consejo Federal de Inversiones. (1998). *Estudio de la localidad de Lagunita Salada y Blancuntre*. Colección de Informes Técnicos de la Biblioteca del CFI.

Evans, M., & de Schiller, S. (1988). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Serie Ediciones Previas, Secretaría de Extensión Universitaria y Bienestar Estudiantil, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

Ferrato, J., Levit, H., Lara, M. A., & Francescangelli, N. (2022). Control de bajas temperaturas nocturnas en invernaderos para zonas templadas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*.

González, A. D. (2012). 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 (AVERMA)*, 16, 45-52.

Gonzalo, G. E. (2004). *Manual de arquitectura bioclimática*. Editorial Nobuko.

Instituto Geográfico Nacional. (2024). *Capas geográficas y base de datos de localidades de la República Argentina*. Ministerio de Defensa.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Lal, R. (2013). Food security in a changing climate. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(1), 8-21.

Lara, M. A. (2010). *Comportamiento estructural y energético de cerramientos rígidos para la protección de cultivos en ambientes patagónicos* (Informe Técnico N.º 42). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Marandi, S., Shokouhi, M., & Sabzehmeidani, Y. (2022). Thermal performance analysis and microclimate evaluation of an underground greenhouse (Walipini) in cold semi-arid climates. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132711.

Meteored. (2026). *Clima en Yala Laubat: Datos climatológicos de previsión y promedios históricos*. Meteored Argentina.

Mijares Almanza, S. A., San Miguel Iza, S. M., González Zarazúa, R. A., González Puente, J. A., Martínez Falcón, F., & Rangel González, B. M. (2023). Climatización geotérmica de casas habitación mediante pozos canadienses. *M+A, Revista Electrónica de Medioambiente*, 24(2), 35-53.

Pretty, J., Morison, J. I., & Hine, R. E. (2003). Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(1), 217-234.

Ramos-Buriticá, J. A., Martínez-Valdez, M., & Castro-Restrepo, D. (2021). Microclimate behavior and crop yield extension in semi-buried agricultural structures under extreme weather conditions. *International Journal of Agricultural Engineering*, 14(2), 112-125.

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2000). *Fisiología vegetal* (4.ª ed.). Editorial Paraninfo.

Szokolay, S. V. (1983). *Arquitectura Solar*. Editorial Hermann Blume.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (4th ed.). Sinauer Associates Inc.

Tennakoon, M. (2009). *An intelligent subterranean greenhouse using fuzzy logic* (Master's thesis). Industrial Systems Engineering, University of Regina, Canada.

von Zabeltitz, C. (2011). *Integrated greenhouse systems for mild climates: Climate conditions, design, construction and technologies.* Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) / Springer Science & Business Media.

Weather Spark. (2026). *El clima en Gastre, el tiempo por mes, temperatura promedio (Argentina)*. Cedar Lake Ventures.