

ENSAYO BREVE

PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

La horticultura bajo cubierta desafía al cambio climático

Por Mariel Mitidieri

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) San Pedro, Ruta 9 Km 170 (2930), San Pedro, Buenos Aires, Argentina.

mitidieri.mariel@inta.gob.ar

La República Argentina en sus 3.761.274 km² presenta una amplia diversidad de climas y suelos. Estas ventajas hacen posible la provisión de hortalizas, flores, ornamentales y medicinales a la población a lo largo del año gracias a las zonas especializadas como el cinturón hortícola platense, Corrientes, y el NOA. La producción bajo cubierta permite ampliar las ventanas de oportunidad que ofrece cada territorio brindando a los cultivos condiciones de temperatura, radiación, humedad lo más cercanas posible a los requerimientos de cada especie.

En el cinturón hortícola platense existen más de 4200 hectáreas bajo cubierta (German *et al.*, 2022), mientras que en Corrientes se contabilizan más de 2100 (Obregón, 2022). En el NOA, en las provincias de Salta y Jujuy, se utilizan estructuras planas de techos bajos tipo Almería modificado; en la zona de Apolinario Saravia y Pizarro se contabilizan unas 1800 ha, mientras que en Orán, Las Cañadas, Yuto, Aguas Blancas y Colonia Santa Rosa se agregan otras 300 ha (Fernández, 2022).



Figura 1. Estructuras adaptadas para la provincia de Chubut. Izquierda y centro. Modelo de invernadero modular construido con paneles. Microtúneles (centro abajo), postes reciclados de tubos provenientes de la actividad petrolera (derecha). Fotos: Eduardo Miserendino e Itatí Jones.

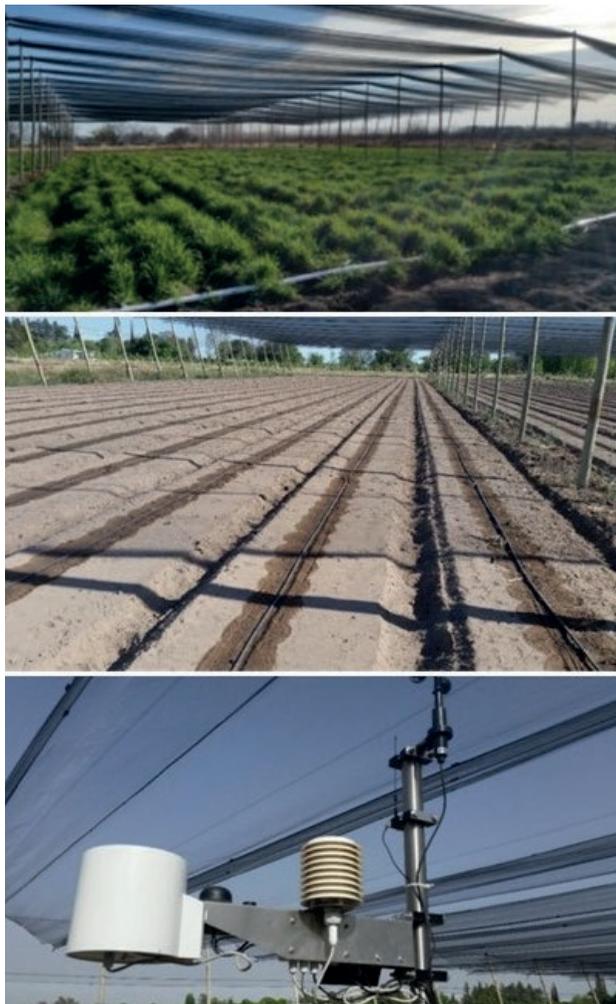


Figura 2. Malla antigranizo en cultivo de tomate, provincia de Mendoza. Fotos: Patrick Smith.



Figura 3. Evaluación de luces LED y producción hidropónica de hortalizas en la Antártida (derecha). Fotos: Jorge Birgi.

También existen polos hortícolas cercanos a las distintas capitales provinciales o centros poblados que además de proveer estos productos a los vecinos, dinamizan la producción familiar. De esta manera el uso de estructuras de madera o metal con techos y paredes de polietileno LTD (larga duración térmica), brinda protección de los vientos y permite aumentar la temperatura y obtener cultivos de primicia (fig. 1). Las mallas de sombreado con sus distintos colores y densidades protegen de la radiación en la temporada estival. Las mallas antigranizo aseguran al cultivo y también mejoran la calidad de las hortalizas (fig. 2) y brindan protección contra la radiación UV excesiva. Las mantas térmicas permiten sobrevivir al daño de las heladas a los cultivos adentro y afuera del invernadero. Las mallas antiinsectos evitan el ingreso de plagas y vectores de enfermedades. La suplementación con luz hace posible la producción "indoor" en territorios como la Antártida donde además el suelo no puede ser usado porque existe un protocolo internacional que así lo establece (fig. 3).

Entre las estructuras más sofisticadas en cuanto a control climático ambiental y tecnología utilizada se encuentra el llamado invernadero de alta tecnología, que permite una amplia gama de estrategias de control climático, como calefacción, refrigeración, humidificación/deshumidificación, iluminación adicional, etc., y manipulaciones del crecimiento de las plantas. En la mayoría de los casos en los países desarrollados, estos invernaderos están ocupados por



Figura 4. Producción de frutilla en hidroponía en un invernadero de alta tecnología en Lima, provincia de Buenos Aires. Foto: Mariel Mitidieri.

cultivos sin suelo (fig. 4). Otros términos que describen este tipo de producción son "agricultura de ambiente controlado" o "sistema de ambiente controlado" (Gruda y Tanny, 2014). Estos invernaderos consumen energía para la calefacción, iluminación y si se basan en cultivo sin suelo, fertilizantes y sustratos.

En las últimas décadas la sociedad en su conjunto se ha sensibilizado con los efectos del cambio climático sobre la vida cotidiana. Si bien el clima del planeta ha sufrido variaciones históricamente, está demostrado que el rápido aumento de la temperatura después de la revolución industrial se debe a causas antropogénicas (Crowly, 2000). El reciente cambio climático (CC) se deriva de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4) como producto de las actividades de la industria, la agricultura y la población. Los GEI absorben la radiación solar y calientan la atmósfera, lo que se conoce como efecto invernadero (IPCC, 2013). Algunos territorios se ven más afectados por el cambio climático. Por ejemplo, el norte de la Patagonia presenta una gran variabilidad ambiental, propia de las regiones áridas y semiáridas (Villagra *et al.*, 2015); la sequía es uno de los principales problemas en sus sistemas agrícolas y ganaderos. El cambio climático (CC) acentúa la falta de agua y contribuye especialmente en las zonas áridas y semiáridas al proceso de desertificación de los suelos mediante la alteración de la distribución espacial y temporal de la temperatura, las lluvias, la radiación solar y los vientos (OMM, 2006; Fernández *et al.*, 2022).



Figura 5. Voladuras de techos y destrucción de invernaderos en La Plata, provincia de Buenos Aires. Foto: Pablo Delmazzo.

Otra consecuencia negativa del CC es el aumento en la frecuencia de eventos desfavorables, como tormentas, inundaciones, vientos que ponen en peligro la infraestructura edilicia y hasta la vida de las personas. La producción bajo cubierta en la Argentina representa una posibilidad de adaptar los cultivos a las condiciones agroecológicas de cada territorio; así como puede verse perjudicada por los efectos adversos del CC, también puede afrontar el desafío de mitigar estos efectos convirtiéndose en una oportunidad para la producción de alimentos en zonas desfavorables y ofreciendo solución para algunos problemas ambientales. La ocurrencia de tormentas con fuertes vientos ha provocado rupturas y voladuras de polietilenos, así como la destrucción de invernaderos y umbráculos en todo el país (fig. 5). A las fuerzas naturales se suma el hecho de que por cuestiones económicas se ha dejado de usar grosores de 200 micrones en los techos y se han reemplazado por materiales de 150 micrones. En algunos casos a los productores no les resulta fácil reparar las estructuras por falta de capital o mano de obra especializada. La necesidad de recambio de estos materiales implica una generación de residuos al ambiente mayor. El desafío de los actores involucrados en la producción de hortalizas bajo cubierta será mejorar los materiales de cobertura para hacerlos más resistentes a los eventos climáticos desfavorables, así como rediseñar las estructuras y hacer hincapié en los detalles de construcción para lograr mayor resistencia a los vientos.

Cada territorio deberá pensar en cómo generar los diseños adecuados. Algunos ejemplos de avances logrados por el INTA en conjunto con el sector productivo son el diseño de umbráculos a dos aguas en Chaco y Formosa para la producción estival, incluyendo una cobertura de polietileno para evitar las lluvias excesivas en el verano (fig. 6), invernaderos con caída suficiente para la nieve en Esquel y paneles que se apoyan sobre pilotes debido a que los postes se pudren con facilidad en la base. Plantación de cortinas corta vientos en Los Antiguos (fig. 7). También se trabaja en el uso de energías renovables como la eólica para hacer funcionar bombas de extracción de agua, o biodigestores que utilizan la materia orgánica residual para calefaccionar los invernaderos en zonas frías (fig. 8).

En cuanto al suelo, la producción bajo cubierta permite la producción en una amplia gama de situaciones. A pesar de esta diversidad los suelos dedicados a esta actividad comparten las mismas problemáticas en todo el país. Es general la tendencia de los productores a utilizar enmiendas a base de guanos, que aun compostados presentan alta concentración de sales. Esta práctica, sumada a que en muchos lugares la crisis hídrica no permite regar con agua de deshielo o agua de lluvia, obliga a utilizar agua de pozo con alto contenido en sodio y bicarbonatos. El resultado son degradaciones químicas y fisicoquímicas, que sumadas a las biológi-



Figura 6. Umbráculos en la provincia de Formosa para la producción estival de hortalizas (Izquierda), estructura a dos aguas que luego será cubierta con malla media sombra (centro), umbráculo en la provincia de Santa Fe (derecha arriba), umbráculos destruidos después de una tormenta (abajo centro y derecha). Fotos: Mirta Sosa y Mariano Gatti.



Figura 7. Adaptación de estructuras en la provincia de Santa Cruz, instalación de cortinas rompevientos. Foto: Julio Mora.

cas producen alteraciones en parámetros de rendimiento y calidad, así como en la sanidad de los cultivos (fig. 9).

Esta limitante que comparten en toda la Argentina las producciones bajo cubierta no deja de ser una oportunidad. Los especialistas en horticultura se han abocado en los últimos tiempos a generar conocimiento para poder aplicar el concepto de economía circular en las producciones. Esto incluye el aprovechamiento de los residuos orgánicos locales y, en un paso más avanzado el diseño de estos residuos para hacerlos más aptos para su utilización. El aprovechamiento de residuos de poda, rastrojos de cultivo, residuos de la industria alimenticia, de la madera, etc., además reduciría la cantidad de materia orgánica que tiene como destinos los basurales a cielo abierto o las emisiones de gases de efecto invernadero por la quema. El concepto de reutilización de residuos alcanza también a otros materiales como los caños que se usan en la Patagonia para conducir el petróleo y que son utilizados como postes para los invernaderos, brindando mayor anclaje contras los fuertes vientos (figura 1).



Figura 8. Utilización de bioenergía para calefaccionar invernaderos y de energía eólica para el bombeo de agua en la provincia de Chubut. Fotos: Eduardo Miserendino y Lucas Gallo Mendoza.

Para poder hacer hincapié en estos aspectos, el desafío es seguir avanzando para conocer y mitigar el riesgo de transmisión de plagas y microorganismos fitopatógenos por la aplicación de residuos hortícolas al suelo; desarrollar un adecuado tratamiento de los residuos pecuarios para evitar la contaminación del suelo y alimentos con agentes causantes de zoonosis, plaguicidas, antibióticos y metales pesados; obtener mezclas entre materiales disponibles de distinta composición para obtener adecuadas relaciones C/N (Mitidieri, 2022). En relación con el uso del agua, será necesario mejorar la eficiencia en el riego y ahondar en estudios ecofisiológicos que permitan lograr los mayores rendimientos con la menor cantidad de agua posible.

La utilización de residuos orgánicos locales también permitiría la elaboración de sustratos para la producción de plantas sin suelo. Este tipo de producción está atrayendo cada vez más la atención de profesionales y productores y depende de la provisión de insumos que en algunos casos son importados. El cultivo sin suelo mitigaría los efectos del cambio climático al ampliar la frontera de superficie cultivable a territorios donde no existen suelos aptos por estar contaminados, ser de baja calidad agronómica o no existir directamente, como es el caso de techos y terrazas. El manejo sostenible del suelo, incluiría el desarrollo de sistemas de captación de agua de lluvia y el uso de correctores de la calidad del agua y el suelo.

Las exigencias de atenuar el costo energético de la distribución de alimentos así como la necesidad de disponer de alimentos de calidad en zonas cercanas a los centros poblados han hecho surgir la producción de alimentos de cercanía. La producción de hortalizas, flores, ornamentales, aromáticas y medicinales cerca de las ciudades promueve la eficiencia energética del país al reducir costos de traslado. Está demostrado que las producciones bajo cubierta plástica generan muy baja contaminación con plaguicidas al ambiente aéreo (Mitidieri, 2022). Aun así, los desafíos de estas producciones pasarían por minimizar las aplicaciones, a través del diseño de sistemas productivos sostenibles, con matrices circundantes que promuevan el control biológico por conservación y haciendo un uso eficiente del agua que en estos territorios debe competir con el uso urbano. En Argentina existen especialistas distribuidos en todo el país con avances en el manejo integrado de plagas y enfermedades, así como en el desarrollo y aplicación de indicadores de impacto ambiental (Matoff, *et al.*, 2021; D'angelcola y Delprino, 2021)

En Argentina casi no existen invernaderos calefaccionados. La necesidad de proporcionar una fuente de calor se hace importante en la Patagonia y en zonas de la región Pampeana, donde



Figura 9. Acumulación de sales en suelo de invernadero, provincia de Río Negro. Foto: Mariel Mitidieri.

los productores optan por retrasar o adelantar el trasplante ocupando períodos menos habituales para poder aprovechar precios más convenientes. Según estudios recientes realizados en Europa, un ahorro de energía de alrededor del 50 % y la reducción de las emisiones de GEI pueden lograrse con un mejor aislamiento mediante el doble revestimiento y las pantallas triples, utilizando insumos biológicos, deshumidificando el aire soplado, humidificando si es necesario, y "cosechando" el calor existente en el invernadero.

Según estos autores los desafíos de los cultivos bajo cubierta serían: abstenerse de utilizar combustibles fósiles para la calefacción, o producir en invierno sin calefacción; sustituir/reciclar materiales como la turba (responsable de la emisión de GEI), la lana de roca, los materiales plásticos (fig. 10), así como minimizar el uso de pesticidas sintéticos y fertilizantes químicos, y realizar una gestión adecuada de los residuos (Gruda *et al.*, 2012; 2019). En Argentina existen avances en el diseño de biodigestores que permitan en la Patagonia calefaccionar los invernaderos utilizando materia orgánica, como también se han instalado bombas de agua que utilizan energía eólica (fig. 8).

Según Muñoz *et al.* (2008) y Ntinas *et al.* (2017) la producción en invernaderos puede contribuir a la horticultura sostenible. Si se compara la producción a campo abierto versus la producción bajo cubierta, la producción en invernadero tiene un menor impacto medioambiental debido a su mayor rendimiento. La estructura de los invernaderos tiene la mayor influencia en la categoría de calentamiento global. El cultivo de tomate en campo abierto consume menos energía y emite menos GEI, pero la eficiencia del uso del agua es menor. En los invernaderos, el uso de energía solar y biodigestores junto con un mayor rendimiento comercial redujo las emisiones de GEI a los niveles del cultivo en campo abierto. La mejora de los materiales de fabricación y la integración de sistemas híbridos de energía solar, pellets de biomasa, alto aislamiento, nuevos materiales de recubrimiento y aplicación de pantallas energéticas allanarían el camino para producción más limpia.

El principal impacto negativo de la producción de tomate en invernadero se deriva de los residuos de biomasa y plásticos. El desafío para mejorar estos aspectos es aumentar la vida útil de los materiales de la estructura, (cubiertas de plástico y equipos auxiliares, como los goteros). Los plásticos en el futuro deberían ser de origen natural y biodegradables. También será necesario realizar una mejor gestión del suministro de nutrientes, así como reducir del uso de fertilizantes (Anton *et al.*, 2005; Torrellas *et al.*, 2012), ya que tanto las emisiones de N_2O como de NO aumentan linealmente con la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Zhang *et al.*, 2016). El riego por goteo y subsuperficial reduce eficazmente las emisiones de N_2O del suelo en invernaderos cultivados en el suelo (Ye *et al.*, 2018).

Los cultivos bajo cubierta no solamente amplían la frontera de la producción tanto en el tiempo como en el espacio, sino que además tienen el potencial de contribuir a la adaptación de los cultivos y a la mitigación de los efectos del cambio climático en la producción y en la vida de las personas. El éxito de este objetivo dependerá de que los actores involucrados se enfoquen en la producción de alimentos inocuos, con un reducido impacto sobre los recursos naturales, asumiendo sistemas de evaluación del desempeño ambiental y procesos continuos de mejora.



Figura 10. Reutilización de cintas de tutorado en la quinta de Patricia Tarqui. Viedma, provincia de Río Negro. Foto: Mariel Mitidieri.

BIBLIOGRAFÍA

- ANTON, A.; MONTERO, J.I.; MUÑOZ, P.; CASTELLS, F. (2005b). Identification of the main factors affecting the environmental impact of passive greenhouses. *Acta Hortic.* (ISHS.) 691, 489e494. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.57>
- CROWLEY, T.J. (2000). Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289 (5477), 270e277. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.270>
- D'ANGELCOLA, E.; DELPRINO, M.R. (2021). Sistema de Evaluación Ponderada de Impacto Ambiental (SEPIA): Una herramienta de trabajo para la gestión sostenible de los territorios. Disponible en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/10830>
- FERNÁNDEZ, I. (2022). Comunicación personal.
- FERNÁNDEZ, M.T.; DE PASCUALE BOVI, J.A.; OCARIZ, M.P.; BIDINOST, F.; CONTI, S.; MADARIAGA, M.C.; TITTONELL, P.A. (2022). Familias de la agricultura familiar realizan un análisis participativo de sus riesgos climáticos y diseñan medidas de adaptación. El caso del proyecto EUROCLIMA+ en el Norte de Patagonia Argentina. *II Seminario de Gestión del Riesgo Agropecuario: resúmenes.* (p. 114-120). Ediciones INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/11460>
- GERMAN, L.A.; VITALE, J.P.; WALDMAN, C.P.; PODETTI, G. 2022. Estimación de Superficie de Invernáculos en el Partido de La Plata año 2022. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/estimacion-de-superficie-de-invernáculos-en-el-partido-de-la-plata-año-2022>).
- GRUDA, N. (2012a). Current and future perspective of growing media in Europe. *Acta Hortic.* (ISHS.) 960, 37e43. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.960.3>
- GRUDA, N.; TANNY, J. (2014). Protected crops, 327-405. En: DIXON, G.R.; ALDOUS, D.E. (Eds.). *Horticulture: Plants for People and Places*, vol. 1. Springer, Países Bajos. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5_10
- GRUDA, N.; BISBIS, M.; TANNY, J. (2019). Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – A review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 324-339, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.295>
- INCROCCI, L.; MASSA, D.; PARDOSI, A.; BACCI, L.; BATTISTA, P.; RAPI, B.; ROMANI, M. (2012). A decision support system to optimise fertigation management in greenhouse crops. *Acta Hortic.* (ISHS) 927, 115e122. <https://doi.org/10.17660/115e122>
- IPCC. (2013). Summary for policymakers. En: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.). *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA.
- OBREGÓN, V. (2022). Comunicación personal.
- MATTOF, E.; FRANK, F.; MITIDIERI, M. (2022). Indicadores de impacto ambiental en establecimientos hortícolas del área periurbana de la ciudad de Córdoba, Argentina. *Horticultura Argentina* 41 (104): 60-83.
- MITIDIERI, M.S.; PIRIS, E.; BRAMBILLA, V.; BARBIERI, M.; CAP, G.; GONZÁLEZ, J.; DEL PARDO, K.; CIAPONNI, M.; PIRIS, E.; BARBIERI, M.; CELIÉ, R.; ARPÍA, E.; PERALTA, R.; VERÓN, R.; SANCHEZ, F. (2015). Evaluación de parámetros de rendimiento y sanidad de dos híbridos comerciales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertados sobre *Solanum sisymbriifolium* (Lam.), en un invernadero con suelo biosolarizado. *Horticultura Argentina*. *Horticultura Argentina* 34(84).
- MITIDIERI, M. (2022). Círculos virtuosos en la producción responsable de los cultivos intensivos bajo cubierta. *Investigación, desarrollo e innovación en el marco del PEI009 3* (3): 2-4. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/12356#>
- Muñoz, P.; Antòn, A.; Nuñez, M.; Paranjpe, A.; Ariño, J.; Castell, X.; Montero, J.I.; Rieradevall, J. (2008). Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in the Mediterranean region. *Acta Hortic.* (ISHS) 801, 1591e1596. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.197>
- NTINAS, G.K.; NEUMAIR, M.; TSADILAS, C.D.; MEYER, J. (2017). Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *J. Clean. Prod.* 142, 3617e3626. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.106>
- TORRELLAS, M.; ANTON, A.; LÓPEZ, J.C.; BAEZA, E.J.; PARRA, J.P.; MUÑOZ, P.; MONTERO, J.I. (2012). LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almería. *Int. J. Life Cycle Assess.* 17, 863e875. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.100>
- YE, X.H.; HAN, B.; LI, W.; ZHANG, X.C.; ZHANG, Y.L.; LIN, X.G.; ZOU, H.T. (2018). Effects of different irrigation methods on nitrous oxide emissions and ammonia oxidizers microorganisms in greenhouse tomato fields. *Agric. Water Manag.* 203, 115e123. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.012>
- ZHANG, Y.; LIN, F.; JIN, Y.; WANG, X.; LIU, S.; ZOU, J. (2016). Response of nitric and nitrous oxide fluxes to N fertilizer application in greenhouse vegetable cropping systems in southeast China. *Nature, Scientific Reports* 6, 20700. <https://doi.org/10.1038/srep20700>
- ZHANG, J.; LI, H.; WANG, Y.; DENG, J.; WANG, L. (2018). Multiple-year nitrous oxide emissions from a greenhouse vegetable field in China: effects of nitrogen management. *Sci. Total Environ.* 616e617, 1139e1148. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.206>