

# Invernaderos

**Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino  
(del paralelo 23 al 54)**

Compiladores:  
Mario Lenscak  
Norma Iglesias



# **INVERNADEROS**

**Tecnología apropiada  
en las regiones productivas  
del territorio nacional argentino  
(del paralelo 23 al 54)**

---

## **Compiladores**

*Mario Pedro Lenscak  
Norma Iglesias*



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Presidencia de la Nación

*INTA Ediciones  
IPAF Región Pampeana  
2019*

Este documento es el resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N°26.899.

### **GRUPO DE REDACCIÓN (por orden alfabético)**

---

**Andreau, Ricardo** -Fac. Cs. Agr. y Ftales. UNLP-

**Bouzo, Carlos** -Fac. Cs. Ag. UNL-

**Czepulis Casares, José Alfredo** -EEA San Pedro INTA-

**Francescangeli, Nora** -EEA San Pedro INTA-

**Gabriel, Ernesto** -EEA La Consulta INTA-

**Garbi, Mariana** -Fac. Cs. Agr. y Ftales. UNLP-

**Iglesias, Norma** -EEA Alto Valle INTA-

**Inocenti, Cristina** -INTI Plásticos-

**Lenscak, Mario Pedro** -EEA Bella Vista INTA-

**Martínez, Susana** -Fac. Cs. Agr. y Ftales. UNLP-

**Miserendino, Eduardo** -AER Esquel INTA-

**Mollinedo, Víctor Alfredo** -EEA Famaillá INTA-

**Mora, Julio César** -EEA Santa Cruz INTA-

### **PROGRAMA: PNHFA**

---

**Coordinador:** Claudio Galmarini

**Proyecto Integrador:** PNHFA-1106081 Contribución al desarrollo territorial de las producciones intensivas

**Coordinadora:** Mariel Mitidieri

**Proyecto Específico:** PNHFA-1106082 Tecnología apropiada para la sustentabilidad de sistemas hortí-florícolas con énfasis en cultivos protegidos

*Este libro  
cuenta con licencia*



# ÍNDICE

---

## **PARTE I / Aspectos generales de la producción bajo invernadero**

---

### **10 CAPÍTULO 1**

---

- 10** Introducción
  - 10** Situación de la producción bajo cubierta en Argentina
  - 12** Tecnología de invernaderos
- 

### **14 CAPÍTULO 2**

---

- 14** Relación entre los cultivos y las condiciones microclimáticas
    - 14** Radiación
    - 17** Temperatura
    - 18** Requerimientos térmicos para los principales cultivos hortícolas
    - 21** Humedad relativa
- 

### **24 CAPÍTULO 3**

---

- 24** Pautas para el diseño e instalación de los invernaderos en función de las características del territorio
    - 24** Ubicación del invernadero en el terreno
    - 24** Radiación
    - 25** Viento
    - 27** Precipitaciones
      - 27** Lluvia
      - 28** Granizo
      - 29** Nieve
    - 29** Temperatura
- 

### **31 CAPÍTULO 4**

---

- 31** Tipo de invernadero
  - 31** Dimensiones del invernadero
  - 33** Forma y pendiente de la cubierta del invernadero
  - 35** Tipo de Cubierta del invernadero

---

**36 CAPÍTULO 5**

---

- 36 Materiales utilizados como cubierta de los invernaderos**
- 36** Propiedades físico-mecánicas  
**36** Propiedades ópticas  
**37** Propiedades térmicas y comportamiento térmico  
**38** Envejecimiento  
**39** Tipos de materiales de cubierta de los invernaderos  
**40** Detalle de los materiales de cobertura plástica que se comercializan en el país  
**42** PEBD sin propiedades de larga duración (Anti UV) y sin efecto térmico (Cristal)  
**43** PEBD larga duración sin efecto térmico  
**44** PEBD larga duración con efecto térmico  
**44** PEBD larga duración con efecto térmico y antivirus  
**45** PEBD larga duración con efecto térmico y antigoteo  
**46** Otras Formulaciones  
**47** Manejo y mantenimiento de los plásticos
- 

**50 CAPÍTULO 6**

---

- 50 Detalles constructivos**
- 50** Inicio  
**52** Canaletas  
**59** Zócalo  
**60** Colocación de la cubierta  
**64** Ventilaciones  
**70** Colocación de mallas
- 

**74 CAPÍTULO 7**

---

- 74 Tecnología para la climatización de los invernaderos**
- 74** Climatización en períodos fríos  
**74** Sistemas pasivos  
**76** Sistemas activos  
**77** Cálculo de las demandas térmicas de un invernadero

<b>79</b>	Climatización en períodos cálidos
<b>80</b>	Sistemas pasivos
<b>89</b>	Sombreado
<b>91</b>	Sistemas activos

---

## **PARTE II / Invernaderos típicos de la Argentina**

---

### **96 CAPÍTULO 8**

---

#### **96 Región Central**

<b>96</b>	Relevamiento y diagnóstico técnico de las estructuras de invernaderos de Córdoba y Santa Fe / Carlos A. Bouzo
<b>96</b>	Introducción
<b>97</b>	Metodología
<b>97</b>	Resultados y discusión
<b>103</b>	Conclusiones
<b>105</b>	Anexo de Tablas
<b>110</b>	Anexo de Figuras

### **116 CAPÍTULO 9**

---

#### **116 Región Pampeana**

<b>116</b>	Situación actual de la producción en invernaderos en el cinturón hortícola de La Plata, provincia de Buenos Aires / S. Martínez, M. Garbi, R. Andreau
<b>116</b>	Introducción
<b>117</b>	Metodología
<b>119</b>	Resultados
<b>122</b>	Discusión
<b>123</b>	Conclusión
<b>124</b>	Anexo Figuras

---

**126 CAPÍTULO 10**

---

**126 Región Noreste**

- 126** Relevamiento y diagnóstico técnico de las estructuras de invernaderos de la provincia de corrientes
- 127** Introducción
- 127** Objetivo
- 127** Metodología
- 127** Resultados y discusión
- 130** Conclusiones
- 131** Anexo de Figuras
- 135** Anexo de Tablas

---

**138 CAPÍTULO 11**

---

**138 Región Noroeste**

- 138** Caracterización de la Producción Hortícola Bajo Cubierta en las provincias de Salta y Jujuy
- 138** Introducción
- 139** Materiales y métodos
- 139** Resultados y discusión
- 143** Anexo de Tablas
- 145** Anexo Figuras

---

**151 CAPÍTULO 12**

---

**151 Región Cuyo**

- 151** Situación de los cultivos protegidos y diseño de invernaderos en la provincia de Mendoza
- 151** Introducción
- 153** Características climáticas de los oasis de Mendoza
- 155** Objetivo
- 155** Metodología
- 156** Resultados
- 165** Anexo I: Características climáticas de los oasis productivos de Mendoza
- 172** Anexo II: Fotos

---

**177 CAPÍTULO 13**

---

**177 Región Patagónica**

- 177** La producción hortícola en los valles de regadío de la norpatagonia  
**177** Introducción  
**177** Características climáticas de la región  
**179** Descripción de las estructuras presentes  
**183** Ciclo de cultivo  
**184** Pautas básicas para el diseño de invernaderos en la región patagónica  
**185** Análisis de las estructuras de invernadero en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Censo 2007)  
**190** Situación actual de la producción en invernaderos en la provincia de Santa Cruz y Tierra del Fuego  
    **190** Introducción  
**192** Características climáticas de la zona  
**195** Objetivo  
**195** Metodología  
**198** Resultados  
**206** Discusión

---

**210 ANEXO METODOLÓGICO**

---

---

**213 BIBLIOGRAFÍA**

---

- 213** Bibliografía citada  
**220** Bibliografía consultada

La presente publicación es un texto colaborativo entre el INTA y el Comité Argentino de Plásticos para la Producción Agropecuaria. El CAPPA está compuesto por empresas relacionadas a la fabricación de plásticos para el agro<sup>1</sup> y de instituciones públicas de investigación y docencia<sup>2</sup>. Tiene como objetivo fundamental contribuir al desarrollo y potenciación de la plasticcultura en cada una de sus aplicaciones, en todo el ámbito del país, promoviendo el uso adecuado de los materiales plásticos en su relación con el medio ambiente e impulsar su reciclado. Esta publicación es fruto de ese ámbito de articulación conjunta entre los organismos públicos y privados.

---

<sup>1</sup>Las empresas que integran el Comité Argentino de Plásticos para la Producción Agropecuaria son:

AMPACET SOUTH AMERICA S.R.L.  
ARCOLOR S.A.  
BASF ARGENTINA S.A.  
BENIPLAST S.A.  
BRASKEM S.A.  
CLARIANT (ARGENTINA) S.A.  
IPESA-RIO CHICO S.A.  
JULIO GARCIA E HIJOS S.A.  
PBB POLISUR S.R.L.  
PLASTAR SAN LUIS S.A.  
SOLVAY

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires - FAUBA

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA

Instituto Nacional de Tecnología Industrial – Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Industria Plástica (INTI - Plásticos)

# PRÓLOGO

Una tendencia que distingue al siglo XXI es la creciente intensificación de la Agricultura. Quizás, uno de los sistemas más representativos de esta tendencia es la producción bajo cubierta. Se estima que existen alrededor de 7.000 hectáreas bajo cubierta en el país, de las cuales el 80% se destinan a la horticultura, el 11% a la floricultura y el resto se dedica a viveros y plantas aromáticas, entre otros cultivos. Si bien la mayor parte se concentra en la provincia de Buenos Aires, es posible encontrar estructuras en todo el país.

El INTA aborda esta compleja temática a través del Programa Nacional “Hortalizas, Flores, Aromáticas y Medicinales (PNHFAyM)”. Un objetivo central es contribuir a mejorar la eficiencia de estos sistemas. Este libro es un gran aporte al sector, especialmente para contribuir a la elección de las estructuras más adecuadas a cada región. Las recomendaciones vinculadas a la eficiencia del uso de energía, a la elección de los materiales más convenientes para su construcción resultarán de gran ayuda al productor.

En la presente publicación se divulan las contribuciones de investigadores y extensionistas del INTA, en trabajos conjuntos con colegas de universidades nacionales, organismos de ciencia y técnica, sectores empresarios y organizaciones de productores.

Quiero resaltar el esfuerzo y la dedicación de todos aquellos que han contribuido a la concreción de esta publicación. Esperamos que estos aportes ayuden a lograr una producción más eficiente y sustentable desde el punto de vista económico, social y ambiental.

Mendoza, agosto de 2019

**Dr. Claudio Galmarini**  
Coordinador del PNHFAyM del INTA

## **Aspectos generales de la producción bajo invernadero**

---

### **CAPÍTULO 1**

#### **Introducción**

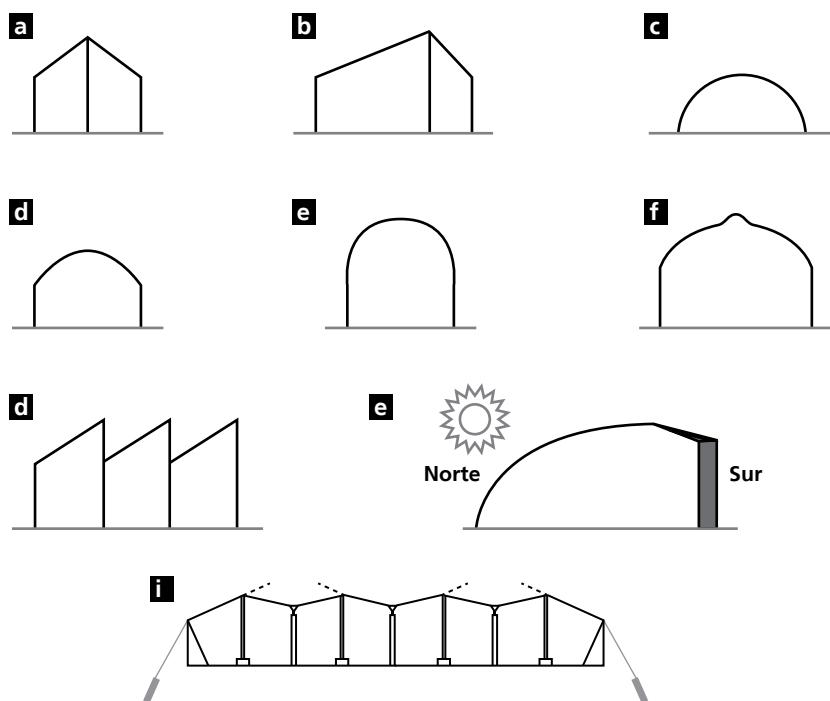
##### **Situación de la producción bajo cubierta en Argentina**

En comparación con otros sistemas productivos, la producción protegida de hortalizas es relativamente reciente en la Argentina por lo que su desarrollo tecnológico es aún insuficiente para lograr una mayor eficiencia productiva en cuanto a rendimientos, calidad y consecuentemente, competitividad. Según el Censo Nacional Agropecuario del 2002 (INDEC, 2002), hasta ese año en todas las provincias se realizaban cultivos bajo cubierta, comprendiendo 5100 establecimientos y representando 3685 ha de las cuales el 80% se destinaban a la horticultura, 11% a floricultura, 9% a viveros y el 0,01% a aromáticas. Buenos Aires lidera la producción protegida nacional (particularmente La Plata) seguido por el NEA (Corrientes, fundamentalmente) y el NOA (Salta, principalmente). En términos de producción de hortalizas, dicha información también indica que el 39% de la superficie correspondía al cultivo de tomate, un 24% con pimiento y el 27% con hortalizas de hoja. Los invernaderos nacionales se han desarrollado aprovechando estructuras locales existentes o copiando modelos de otras zonas de producción (p. ej. España y Chile principalmente) pero en ningún caso sobre bases científicas para lograr el mejor aprovechamiento climático de cada región en particular. Según una estimación del CAPPA (Comité Argentino de Plásticos para la Producción Agropecuaria), en 2015 la superficie total de invernaderos era de aproximadamente 6517 ha, con porcentajes de utilización (horticultura, fruticultura y viveros) con escasa variación a los antes citados (Lenscak y Stavisky 2016). Estimaciones recientes indican que en 2016 solo la zona del Gran La Plata (Florencio Varela, Berazategui y La Plata) la superficie cubierta es de 5462 has. (Miranda, 2017).

A nivel nacional la tecnología para la producción bajo cubierta es insuficiente y existe poca información en lo referente a la influencia del tipo de estructuras más comunes en la Argentina y su relación con los factores ambientales internos. El manejo de los factores ambientales y del cultivo es totalmente empírico, en base a la experiencia de prueba y error de cada productor en particular. Los rendimientos de los cultivos hortícolas protegidos resultan dispares, pues son pocas las variables que se han estado optimizando al no existir una base técnico científica que permita lograr el máximo desarrollo. Si bien estos sistemas de manejo en algunos casos son

exitosos, en general no se aprovecha la potencialidad productiva que podría darse bajo estas condiciones. Esta situación determina que sea difícil mantener los valores de temperatura dentro de los rangos óptimos, por lo cual los procesos de crecimiento pueden ralentizarse y comprometer los niveles y calidad de la producción.

Si bien en cada región productiva se encuentran diferentes tipos de invernaderos, desde aquellos con techos a dos aguas hasta los de techos redondeados, la forma general de los mismos se encuentra dentro de los nueve tipos caracterizados por la FAO, y adaptado por otros autores. (FAO 2002; Lenscak, y col. 1996; Hortoinfo, 2016. Novedades Agrícolas, 2016) (Figura 1).



**Figura 1.** Formas de invernaderos. a) Techos planos simétricos a dos aguas, b) Techos planos asimétricos, c) Arco redondeado o macrotunel, d) Arco rebajado, e) Semicilíndrico, f) Arco en punta o Gótico, g) Diente de sierra, h) Medio arco con pared de mampostería, i) Raspa y amagado.

Este libro aborda el tema de las estructuras, dimensiones, orientación y características particulares de los invernaderos que están en uso y de los recomendados para las distintas regiones del país, abarcando aproximadamente desde el paralelo 23 –climas sub-tropicales- al paralelo 54 –climas fríos- pasando por climas muy húmedos a muy secos. Además, es objetivo de este libro esclarecer los factores constructivos a tener en cuenta en función del clima y de los requerimientos ambientales de los principales cultivos bajo cubierta de cada región.

### Tecnología de invernaderos

En general, con el cultivo bajo cubierta, se persiguen tres objetivos muy claros: obtener producción fuera de época cuando las condiciones climáticas locales son adversas para la producción al aire libre, incrementar la producción lo cual es posible como consecuencia de la intensidad de los cuidados y las condiciones de cultivo favorables dentro de las estructuras protegidas, y mejorar la calidad comercial de la producción.

Se define como invernadero a un recinto delimitado por una estructura de madera o de metal, recubierta por vidrio o cualquier material plástico de naturaleza transparente, en cuyo interior suelen cultivarse hortalizas y plantas ornamentales en épocas durante las cuales las condiciones climáticas externas no permitirían obtener el producto deseado (Maroto, 1989). Esta expresión contiene términos imprescindibles a ser tenidos en cuenta en el momento de la toma de decisiones: clima de la región productiva, cultivos que se plantean realizar, estructura y cubierta adecuadas a las condiciones locales que permitan el óptimo manejo del clima y del cultivo.

Los criterios básicos a tener en cuenta para la toma de decisiones en lo que respecta a las múltiples alternativas tecnológicas que surgen en el momento de definir un proyecto productivo bajo cubierta se pueden resumir en:

*La tecnología tiene que ser rentable.* Es necesario realizar *a priori* el análisis económico del modelo productivo planificado y en base a los resultados realizar los ajustes necesarios para lograr la rentabilidad. La producción en invernadero requiere de una significativa inversión inicial cuya recuperación es una función de la vida útil de las estructuras, siendo relativamente de corto plazo fundamentalmente si las mismas son de madera.

*La tecnología a emplear está asociada a las condiciones de la economía local.* Al tratarse de productos destinados al mercado interno nacional los precios están sujetos a las variaciones de precios del mercado nacional, regional y local.

*La producción bajo cubierta permite tener mayor seguridad* con respecto a los cultivos al aire libre. De todas maneras, el nivel tecnológico de la producción bajo cubierta de la Argentina es bajo en lo que respecta al control de factores climáticos por lo cual muchas veces hay grandes pérdidas productivas frente a adversidades climáticas extremas.

*La tecnología de la producción en invernadero no tiene por qué ser complicada.* Sin embargo, debe considerarse que el mero hecho de incorporar una cubierta de protección, trae aparejado una diferencia substancial de manejo de los cultivos con respecto a la producción al aire libre.

*Hay pequeños cambios de tecnología que pueden marcar la diferencia.* Mediante la producción en invernaderos, cambios "menores" en la tecnología de manejo de los cultivos, pueden representar significativas diferencias en el resultado productivo. Por citar algunos ejemplos: la distribución del cultivo, densidad de plantación, manejo del fertiriego, tipo de conducción, tutorado y manejo fitosanitario.

Los contenidos de este libro apuntan a brindar herramientas técnicas basadas en todos estos conceptos y orientados fundamentalmente a brindar criterios de decisión para plantear estructuras de invernaderos adaptadas a las condiciones de cada región. Además, se pretende establecer algunos elementos que pueden ser incorporados como cambios a las estructuras ya existentes, los que posibilitarían aumentar la producción y la calidad, disminuyendo además la incidencia de problemas sanitarios, como así también minimizar los daños por factores ambientales adversos, como vientos intensos y granizos.

## CAPÍTULO 2

### Relación entre los cultivos y las condiciones microclimáticas

#### Radiación

La transmisión de la radiación solar a través de la cubierta influirá tanto en el balance energético del invernadero, como en la actividad fotosintética del cultivo, pudiendo ser el factor más limitante particularmente en las latitudes comprendidas en la Patagonia. La radiación solar comprende la radiación ultravioleta (0,300-0,380 m), visible (0,380-0,760 m) e infrarroja solar (0,760-2,500 m). La radiación utilizada por las plantas para los procesos fotosintéticos y consecuentemente sobre el crecimiento del cultivo, es la comprendida entre los 0,400 y 0,700 m, la que comúnmente se conoce como radiación fotosintéticamente activa (PAR, por su sigla en inglés).

Por otro lado, desde el punto de vista del estudio del balance de energía en el invernadero y las pérdidas de energía nocturna, las cuales establecerán las necesidades de calefacción del mismo, es necesario considerar la radiación de onda larga terrestre, que es también una longitud infrarroja pero con una longitud de onda mayor que la solar, la que comprende el rango 5-40 m. Precisamente, entre estas longitudes de onda se determinan las pérdidas por radiación del invernadero, las que dependen de las propiedades de emisividad y transmisividad del material de cubierta a las mismas (Muñoz y col. 1998). Emisividad es la propiedad del material para emitir una radiación ya absorbida por el mismo y transmisividad es la propiedad del material para dejar pasar la radiación infrarroja o de onda larga terrestre (también comúnmente denominada como "térmica").

La transmisión de la radiación solar a través de la cubierta influye tanto en el balance energético del invernadero como en la actividad fotosintética del cultivo. Aunque los materiales de cobertura comúnmente utilizados en la actualidad produzcan una reducción en la intensidad de la radiación y una modificación en la distribuciónpectral, deben presentar características que, por un lado, favorezcan la entrada de la radiación incidente y por otro limiten, principalmente durante la noche, la pérdida de la energía térmica acumulada. Por este motivo es imprescindible determinar, la transparencia a la radiación de onda larga (infrarroja o "térmica") y a la comprendida en el espectro fotosintéticamente activo de los materiales utilizados en los invernaderos en determinadas condiciones climáticas locales.

El conocimiento de las características de la transmisión de la radiación por el material de la cubierta del invernadero es importante en la evaluación de los potenciales beneficios de cada material dado que pequeñas diferencias en la transmisión solar pueden significar importantes efectos en el desarrollo del cultivo. Trabajos realizados en Inglaterra demuestran que el 1% del incremento de la radiación PAR significa un 1% en los rendimientos de tomate (Cockshull, 1988). También evaluaciones similares realizadas en el sur de España, en Almería, a 36°N (Castilla y col. 1989, 1990, Castilla y López\_Galvez, 1994), corroboran el aumento de la producción en función del aumento de la radiación.

Sin embargo, los rendimientos también dependen de la concentración de CO<sub>2</sub> y de la temperatura del aire. Ésta última es resultado del balance de radiación y energía que se establece en el interior del invernadero, por lo que situaciones de altas temperaturas generan estrés térmico y foto-oxidativo en los cultivos. Esto determina que particularmente en verano los altos niveles de radiación pueden afectar negativamente los rendimientos en áreas geográficas caracterizadas por una alta radiación lo cual puede obligar a la necesidad de realizar sombreo sobre los cultivos. Por el contrario, en períodos de baja radiación, el nivel de la misma puede ser muy inferior al punto de saturación lumínica, por lo que la utilización de luz artificial puede ser un recurso técnico aceptable para aumentar los rendimientos.

La radiación fotosintéticamente activa (PAR), está comprendida en el rango 0,400 y 0,700 m, también se la suele expresar en unidades de flujo fotónico fotosintético ( $\mu\text{moles de cuantos por metro cuadrado y por segundo}$ ), es un recurso necesario a ser considerado en aplicaciones relacionadas con la fisiología vegetal, producción de biomasa e iluminación natural de los invernaderos. Pearson y col. (1995) examinaron la propiedad de transmisión de ésta radiación de diferentes películas formuladas para cubiertas de invernaderos verificando que la mayor transmisión PAR (94,2%), determinada en base a la eficiencia fotosintética medida, fue registrada en una película de polietileno que contenía aditivos fluorescentes. Por otro lado, en este mismo estudio, se registró una gran variación en el grado en el cual las diferentes películas evaluadas dispersaron la luz. Por ejemplo, el policarbonato, que es una cobertura clasificada dentro de las denominadas como rígidas, dispersa el 7,2% de la radiación incidente mientras que un polietileno difuso dispersa el 86,6%. En todos los materiales de cobertura, el porcentual de luz dispersada decrece con la longitud de onda.

El tiempo de exposición de la cubierta a las condiciones del medio ambiente también incide negativamente disminuyendo la luz transmitida a través de la cubierta (Papadakis y col. 2000). Por otro lado, considerando la composición de la radiación solar, Nijskens y col. (1990), evaluando cubiertas de polietileno durante un período de 1 año permitieron asegurar que la transmitancia disminuye levemente (2 a 4%) en los diferentes rangos de longitud de onda del espectro solar (0,280-2,500m).

Además del tipo de material, la procedencia de los mismos (Wang y col. 1999, Golberg y col. 1996), pueden dar respuestas diferentes en el porcentaje de luz transmitida. Experiencias realizadas con materiales de cubierta de polietileno con aditivos anticondensación de 1 y 3 años, como así también en materiales con aditivos térmicos no encontraron disminución de transmisión de luz debido al tiempo de uso pero si detectaron menores valores en el material con propiedades térmicas (Zhang y col., 1996).

El estudio de la transmitancia de la radiación solar de los invernaderos es provechoso para poder establecer mejoras que permitan una mayor penetración de la radiación que posibiliten la máxima productividad y las mayores ganancias de energía cuando los invernaderos son utilizados como colectores solares, tal es el caso de los ubicados en latitudes altas como los de la Patagonia. Los distintos materiales

empleados en las cubiertas presentan características propias en lo que se refiere a la transmisión de la radiación solar y retención de la radiación infrarroja larga (Feuilloley e Issanchou, 1996; Papadakis y col. 2000; Geoola y col. 2000).

La radiación transmitida no solamente depende de las propiedades del material de cubierta sino también de las características de los invernaderos, fundamentalmente el ángulo del techo, presencia de una ó doble pared (Critten 1984; Zhang y col. 1996), y la orientación de los mismos con respecto a los puntos cardinales (Critten, 1987 a y b, 1988, Papadakis y col. 1998, Bouzo y Pillatti, 1999).

Trabajos en cultivos hortícolas bajo cubierta realizados en España (Castilla y col. 1989), en donde se compararon estructuras con techos de distintas formas obtuvieron resultados que demostraban la importancia de una mayor luminosidad sobre la calidad y producción de los cultivos. Por otro lado, experiencias realizadas con plantas jóvenes de tomate, Bruggink y Heuvelink (1987) verificaron una fuerte relación entre la luz recibida por la planta, el desarrollo vegetativo y la asimilación de fotosintatos. Este tema también fue abordado por otros autores (Schoch y col., 1990) quienes determinaron los efectos de la luz y las temperaturas nocturnas sobre el incremento del diámetro del tallo en tomate. Los resultados del trabajo de estos últimos autores confirmaron que el crecimiento en diámetro del tallo durante el estado vegetativo fue proporcional al aumento de luz que recibe la planta.

Considerando materiales de cubierta secos y transparentes, distintos autores (Pearson y col. 1995; Pieters y col. 1997; Pollet y Pieters, 1999a, 1999b, 2000a, 2000b), han podido constatar que el comportamiento respecto a la transmitancia de la radiación solar en función del ángulo de incidencia del sol respecto a la cubierta, va sufriendo pequeñas variaciones en torno a la perpendicularidad de la incidencia, y decrecen rápidamente para inclinaciones mayores a 45°. Por otro lado, dependiendo del material de cubierta y del ángulo de incidencia, la presencia de condensación produce una disminución de la transmitancia entre 5 y 10% (Pieters y col., 1997).

El ángulo hipotético que se forma entre los rayos provenientes del sol y la superficie receptora de un invernadero depende principalmente de la forma y orientación del invernadero (Critten, 1984). Los coeficientes de transmisión correspondientes a la radiación solar y a la fracción de longitud de onda fotosintéticamente activa (PAR) son de similar magnitud para la mayoría de los materiales utilizados como cubierta de invernaderos (Golberg y col. 1996), aunque Pearson y col. (1995) obtuvieron valores de transmitancia mayores a los reportados por Nijskens y col. (1985) habiéndose atribuido estas diferencias a que los registros de Pearson fueron llevados a cabo cuando la luz incidente se encontraba prácticamente perpendicular a la cubierta. Las comparaciones de transmitancia de material en las cuales se toma en cuenta el ángulo de incidencia son más realistas que las que comparan simplemente los materiales. Finalmente, la directa relación que existe entre la transmitancia de la radiación solar y la radiación PAR permitió obtener funciones de regresión para calcular ésta última a partir de los registros obtenidos de la radiación solar (Giacomelli y col., 1988).

A igual que en la zona Mediterránea, en Argentina, el material básico para la mayoría de las cubiertas de invernaderos y túneles, es el polietileno, fundamentalmente con agregados de aditivos que le permiten mayor durabilidad, además de otros que le confieren propiedades térmicas (LDT), siendo los espesores por lo común más empleados son de 100 y 150 µm según la zona. (Lenscak y Stavisky, 2016; Sierra y col., 1994). Los aditivos son sustancias que van dispersas físicamente en una matriz polimérica sin afectar su estructura molecular, siendo específicos de acuerdo a las propiedades que le confieren a los materiales de cobertura. De esta manera, el agregado de diferentes aditivos añadidos a la resina básica de polietileno, permite aumentar la duración del filme, modificar su transparencia a la radiación visible a la infrarroja corta, a la radiación solar y cambiar sus calidades de absorción y reflexión del infrarrojo largo lo cual determina cualidades diferentes en la transmisión de luz o intercambio de calor entre el invernadero y el entorno.

Además del efecto sobre la ganancia y pérdida de calor, los materiales plásticos inciden directamente en la transmisión de luz dentro del invernadero. La productividad de los cultivos exigentes en luz puede verse limitada si los niveles de radiación no alcanzan valores óptimos. Estos valores dependen de distintos factores, entre ellos, las condiciones climáticas (principalmente la nubosidad que determina la proporción de radiación directa y difusa), la posición del sol en el cielo (dependiendo de la fecha, hora y latitud), la geometría de la cubierta del invernadero, la orientación del invernadero (este-oeste, norte-sur), del material de las cubiertas y de los elementos que componen la estructura y equipos que producen sombreo, que en conjunto provocan una limitación de la radiación que efectivamente recibe el cultivo. De esta manera, la radiación que llega al dosel vegetal está condicionada por otros factores y no solamente por las propiedades de transmisión del material de cubierta.

Trabajos realizados sobre pimiento (Yao y col. 2000) demostraron que los cambios en los diámetros del fruto están estrechamente relacionados con la radiación, observándose que en frutos ubicados a la sombra los cambios fueron mayores que aquellos desarrollados en lugares más iluminados. Los autores concluyeron que aquellos factores que afectan la transpiración foliar, tales como la radiación solar, el déficit de vapor de agua, la temperatura del aire y el estrés hídrico, afectan el crecimiento del fruto.

### Temperatura

La temperatura es un factor determinante de la actividad metabólica y el crecimiento y desarrollo de las plantas. En invernaderos no automatizados es difícil lograr mantener los valores de temperatura dentro de los rangos óptimos para cada cultivo, por lo cual los procesos de crecimiento pueden ralentizarse y comprometer los niveles y calidad de la producción. Por otro lado, los cambios bruscos de temperatura también producen cambios similares en los procesos metabólicos lo cual también compromete la productividad (Lorenzo, 2001).

Las temperaturas óptimas nocturnas para el cultivo de tomate en invernadero varían entre 10 y 14 °C y las diurnas entre 17 y 25°C. De Koning (1988) determinó que las temperaturas mayores, dentro del rango mencionado, mejoran el crecimiento de los frutos tempranos a expensas del desarrollo vegetativo. Grange y Andrews, (1993) determinaron que el tamaño final del fruto (hasta la madurez) se relaciona directamente tanto al aumento de peso del mismo durante aproximadamente 40 días después de antesis, alcanzando el máximo crecimiento en diámetro en el período que media entre 15 y 20 días después de antesis. Según Grange y Andrews (1995), la tasa de crecimiento de los frutos de tomate varía con las variaciones de la temperatura del mismo y por su parte De Koning (2000) determinó la relación lineal entre la tasa de desarrollo de los frutos y la temperatura.

La distribución de la temperatura dentro del invernadero es uno de los factores que inciden sobre la uniformidad del cultivo. Existen estudios que han determinado la relación de la temperatura y los procesos metabólicos, de crecimiento y fructificación del tomate (Heuvelink, 1995, 1996; Sauser y col. 1998; Baptista y col, 2001). Zhao y col., (2001), estudiaron la variación vertical de la temperatura y humedad en invernaderos ventilados naturalmente. Los autores observaron gradientes verticales de temperatura y humedad que se relacionaron a la edad del cultivo y apertura de las ventanas (cenitales y laterales), siendo más notorio cuando el cultivo estuvo más desarrollado. Experiencias realizadas por Sato y col., (2001) permitieron determinar que la temperatura media diurna superior a 26-28°C influyó negativamente sobre la formación del grano de polen, impidiendo el normal desarrollo de los frutos, obteniéndose un incremento en la proporción de frutos partenocápicos.

Pearce y col., (1993) estudiaron la influencia de ambos factores, radiación y temperatura, sobre la tasa de crecimiento de frutos jóvenes de tomate. Los autores determinaron que la expansión del fruto estaba fundamentalmente relacionada al incremento de temperatura mientras que la radiación se relacionaba con procesos de fotosíntesis y disponibilidad de fotoasimilados. Por otro lado, en este mismo trabajo, la tasa de crecimiento del fruto disminuyó cuando la radiación integral diaria fue menor a  $6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  de radiación fotosintéticamente activa.

#### ***Requerimientos térmicos para los principales cultivos hortícolas***

En las plantas, los procesos fisiológicos están íntimamente ligados con la temperatura. Si la temperatura ambiente está por encima o por debajo de los valores determinados como óptimos para cada especie se afecta la floración, fructificación, y su desarrollo, lo que se traduce en los cultivos con una menor producción. Cuando estos valores de temperatura son extremos a los cardinales mínimos y máximo puede incluso producir muerte de la planta. En la tabla 1 se presentan los valores de las temperaturas óptimas durante el día y la noche. Estos valores son orientativos ya que pueden variar dentro de las especies, e incluso con las variedades.

**Tabla 1.** Valores óptimos de temperatura para diferentes cultivos.

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

A su vez, los diferentes estadios ontogénicos de desarrollo de los cultivos presentan requerimientos de temperatura diferentes (tabla 2). Estos valores de temperaturas pueden ser útiles como orientación para los cálculos de calefacción, y en los invernaderos de mayor tecnología, incluso pueden ser útiles para evaluar alternativas de disminución de las temperaturas máximas.

**Tabla 2.** Valores óptimos de temperatura para diferentes cultivos según estado fenológico.

Especie	Tº óptima nocturna (°C)	Tº óptima diurna (°C)	Observaciones
Berenjena	21	22	Hasta 8 semanas después de plantación
	19	21	Hasta final de cultivo
Pepino	21	23	4 semanas antes de plantación Hasta 6 semanas después de plantación
	20	22	Durante las 6 semanas siguientes
Lechuga	19	21	Hasta final de cultivo
	10	10	2 semanas antes de plantación Durante las 6 semanas siguientes
Tomate	6	12	Hasta final de cultivo
	20	20	1 semana antes de plantación Plantas hasta 4 semanas
Pimiento	18.5	19.5	Durante las 5 semanas siguientes
	17.5	18.5	Hasta final de cultivo
	20	23	3 semanas antes de plantación Plantas hasta 8 semanas
	18	22	Hasta final de cultivo

La transmisión de la radiación infrarroja (o térmica) emitida por el suelo, el cultivo y elementos internos, es un importante mecanismo responsable de las pérdidas de calor por las cubiertas de los invernaderos. En este sentido hay diferencias entre los materiales, por ejemplo los polietilenos, a diferencia del vidrio,

presentan mayor transmitancia a esta radiación (Nijkens y col. 1985, Papadakis y col. 2000). Sin embargo, y dentro de los polietilenos, hay que diferenciar esta propiedad entre los diferentes aditivos con que fueron formulados estos polímeros para conferir su carácter de ‘térmico’. Además, está comprobado que dentro de los polietilenos térmicos incluso, la transmitancia a la radiación infrarroja emitida por el invernadero es inversamente proporcional al espesor del material. Como la mayor pérdida de radiación infrarroja en un invernadero ocurre por el techo, esto explica la razón por la que se opte normalmente por polietilenos de mayor grosor (p. ej. 150 µm) en techo que en paredes. Esta pérdida de calor a través de la radiación infrarroja o térmica, constituye una componente esencial de todos los modelos de simulación elaborados para estimar el balance de calor de los invernaderos. Es así que diferentes modelos, tanto simples como complejos, han sido usados para investigar el problema del intercambio de calor en los invernaderos. Consideran en menor o mayor medida respectivamente, las propiedades radiométricas del material de cubierta, ya que las mismas juegan un rol importante en la transmisión de radiación térmica.

Las películas de polietilenos usados comúnmente para cubiertas de invernadero presentan a su vez modificaciones en la transmitancia de radiación térmica en función de la presencia o ausencia de condensación interna. En caso de no presentar condensación, la transmitancia es mayor. Las cubiertas utilizadas para los invernaderos deben responder a requerimientos de alguna manera contrapuestos: mientras por un lado es conveniente que presenten altos valores de transmitancia a la radiación solar, particularmente la radiación fotosintéticamente activa (PAR), por otro lado, deben presentar bajos valores de transmitancia de la radiación infrarroja terrestre (p. ej. Mayor a 7µm).

La radiación infrarroja, es también conocida como térmica dado que es una radiación electromagnética que emite un cuerpo en función a su temperatura (Monteith y Unsworth, 1990). Según la ley de Stefan-Boltzman, la cantidad de radiación infrarroja o energía radiante emitida (E) resulta de:

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (\text{W.m}^{-2})$$

Donde:

E: cantidad de energía emitida

$\epsilon$ : emitancia del cuerpo adimensional

$\sigma$  : constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8}$ )  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

T: temperatura del cuerpo (K)

$\epsilon$ : emitancia del cuerpo, (p. ej. para un PE cristal = 0.90, según Pieters y col. (1995))

La mayoría de los materiales de coberturas flexibles como los polietilenos, no son opacos a la radiación térmica, y por tanto en el cálculo de las pérdidas totales habría que añadir un término adicional, que sería el porcentaje de radiación emitida por el cultivo o suelo que atraviesa la cubierta. Este término puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{rad} = E_p \sigma T_p^4 \tau_{tmc}$$

Donde:

$\tau_{tmc}$ : transmitancia de la cubierta a la radiación térmica.

$E_p$ , emitancia del cultivo (adim.)

$T_p$ , Temperatura del cultivo (K)

Como puede observarse, la transmisión de la radiación térmica es un importante mecanismo responsable de las pérdidas de calor en las cubiertas plásticas de los invernaderos.

Además de la pérdida de calor por radiación infrarroja debido a la transmitancia de los materiales de cubierta, otra pérdida que debe considerarse es la debida al fenómeno de conducción, que es aditiva a la anterior. Esta pérdida ocurre debido a un efecto directamente proporcional al gradiente que se establece entre la temperatura interna y externa del invernadero, y al coeficiente de conductividad térmica del material de cobertura. Aunque hay ecuaciones que consideran de manera más pormenorizada este fenómeno, se puede entonces formular como:

$$Q_{cc} = K_c A (T_i - T_e) dx^{-1}$$

Donde:

$K_c$ : Coeficiente de conductividad térmica del material de cubierta

$A$ : Área de cobertura ( $m^2$ )

$T_i - T_e$ : Temperatura del aire (interna y externa respectivamente) (K)

$dx$ : espesor del material de cubierta (m)

Con respecto al coeficiente de conductividad térmica ( $K_c$ ) el polietileno tiene un valor dependiente de la densidad del material que va de 0,29 a 0,43  $W\ K^{-1}\ m^{-1}$ , mientras que el aire es de sólo 0,024  $W\ K^{-1}\ m^{-1}$ . Es decir, en el caso del mayor coeficiente el polietileno conduce el calor casi 18 veces más que el aire. Esta es la razón por la cual para conservar más tiempo el calor durante noches frías por ejemplo y disminuir un fuerte descenso de la temperatura, es recomendable colocar una doble cubierta de techo. Los invernaderos de techo de doble cubierta, orientados en el sentido E-O, presentan disminución de la luz transmitida frente a invernaderos de techos de simple cubierta, pero se registra un significativo ahorro energético que se traduce en una disminución de las necesidades de calefacción. La doble cubierta, aunque difícil de ser lograda en el techo, es recomendable y consiste en dejar un espacio de aire retenido entre dos películas de polietileno.

De la fórmula también se desprende que la pérdida de calor por conducción va a depender del espesor del material que estamos utilizando.

### Humedad relativa

Gran parte de los fenómenos que se presentan en el clima del invernadero, se entienden al conocer el comportamiento de las mezclas de vapor de agua y aire. Conociendo los conceptos básicos que regulan estas mezclas, se puede resolver muchos problemas, y usar este elemento en el manejo de los factores ambientales, fundamentalmente en las primeras etapas del crecimiento de un cultivo.

La humedad del aire es uno de los factores climáticos que es necesario considerar para obtener una adecuada sanidad y desarrollo de un cultivo en invernadero. La influencia de la humedad sobre el complejo medio del invernadero es menos conocida que la de otros factores sin duda por la dificultad de su medida y control. El aire del invernadero se enriquece de vapor de agua proveniente del suelo y de la transpiración de las plantas (Valera Martínez y col. 1999) Esto puede llegar a ser favorable en zonas con baja humedad relativa (ej. Mendoza) pero resultar un problema en zonas húmedas (ej. Buenos Aires) donde tendremos que observar atentamente la ventilación para evitar valores muy altos y cercanos al punto de rocío, el que determina conjuntamente con la temperatura del aire el momento en que el agua comienza a condensar sobre las plantas y la cobertura interior del invernadero. Debe recordarse que la manera más usual de expresar el vapor de agua en el aire es mediante la humedad relativa (HR) en valores porcentuales (%). La misma resulta de relacionar la presión de vapor actual (mbar o MPa) con la de saturación a una temperatura determinada. Precisamente también, la diferencia entre las dos presiones mencionadas, determina otra manera de expresar el estado del aire con respecto a la humedad, que es a través del déficit de saturación (DS).

**Tabla 3. Valores óptimos de humedad relativa para diferentes cultivos (Tesi, 1968).**

Producto	Humedad
Tomate	55-60%
Pimiento	65-70%
Berenjena	65-70%
Melón	60-80%
Acelga	60-70%
Lechuga	60-80%
Sandía	65-75%
Apio	65-80%
Frutilla	60-70%
Pepino	70-90%
Clavel	70-80%
Rosa	70-75%
Gerbera	60-70%

En un sistema en el que no se verifican variaciones del contenido absoluto de vapor de agua (es decir, cuando hipotéticamente no hay aportes de agua como vapor por cada volumen de aire) y de la presión atmosférica, al aumentar la temperatura se tiene una disminución de HR y un aumento del DS. Sucede lo contrario en caso de que disminuya la temperatura, en tal caso aumenta la HR y disminuye el DS, a tal punto que en ocasiones se produce la condensación del vapor de agua, solo como efecto de la disminución de la temperatura. Este fenómeno puede percibirse fácil-

mente por el estado 'mojado' que presenta un cultivo y el interior del polietileno en un invernadero poco antes del amanecer. Al contrario de lo anterior, si mantenemos la temperatura constante, al aumentar la humedad absoluta (es decir el aporte real que hacen el cultivo mediante la transpiración del suelo y por la evaporación) se tiene un aumento de HR y una disminución del DS (sucede lo contrario en caso de que la humedad absoluta disminuya).

El DS tiene una importancia decisiva desde el punto de vista ecofisiológico ya que, junto a la temperatura de las hojas, determina el gradiente de presión de vapor que regula el proceso transpiratorio. El DS en el invernadero varía de 0 a 30-35 mbar, mientras los valores óptimos se encuentran entre 2 y 10 mbar (correspondientes a una HR de 55-90 % a 20 ° C) (Alpi y Tognoni, 1991) La Tabla 3 muestra los valores adecuados a cada tipo de cultivo.

Si la humedad es excesiva (lo que se traduce en un valor muy bajo de DS) dificulta la evaporación. Si es escasa (y por ende mayor DS) aumenta la transpiración hasta llegar a dificultar la fotosíntesis, situación que ocurre en casos en que el mantenimiento del gradiente hídrico por el cultivo, a través del concepto de un continuo sistema suelo-planta-atmósfera determine el cierre parcial o total de los estomas. En la primera condición, la fotosíntesis disminuye por menor fijación de CO<sub>2</sub>, agravada además por el hecho que la mayoría de los cultivos en invernadero poseen fotorrespiración, por lo que si a la disminución de la HR se agrega un importante incremento de la temperatura del aire, la fotosíntesis cae abruptamente, y con ella la productividad del cultivo.

De acuerdo a lo expuesto por lo tanto, la humedad relativa se modifica tanto por el aporte real de agua como vapor en el aire (modificación de la humedad absoluta) como con la temperatura, por lo que debe controlarse ambos parámetros si se pretenden las mejores condiciones para un cultivo. Una humedad excesiva se corrige con ventilación y evitando suelos húmedos (ambos disminuyen la humedad absoluta), o bien elevando la temperatura (por lo que se incrementa la presión de vapor de saturación y de esa manera disminuye la humedad relativa). Por el contrario, la falta de humedad, se corrige con menor ventilación, o con el aporte de agua al sistema mediante el riego, nebulización de agua o superficies presentes de agua.

Aunque la humedad es difícil de controlar en condiciones de invernadero no automatizados, no deja de ser importante considerar los efectos de este factor sobre la calidad de los frutos. Bertin y col. (2000), observaron cambios en el rendimiento y calidad de frutos frescos de tomate a lo largo de la temporada de cultivo relacionados al déficit de saturación (DS). Por ejemplo, mientras que en condiciones de bajo DS se observan menores pérdidas por fisiopatías como la podredumbre apical de los frutos y flores (Conocida del inglés como Blossom End Rot BER), aumenta la cantidad de frutos rajados y por otro lado estas condiciones afectan negativamente el contenido de azúcares y materia seca de los frutos.

También, situaciones con una HR muy alta (Bajo DS) es conducente a condiciones predisponentes para la aparición de algunas enfermedades, como por ejemplo la oidiopsis. (Rhuveni y Rotem, 1973)

### Pautas para el diseño e instalación de los invernaderos en función de las características del territorio

#### Ubicación del invernadero en el terreno

Por lo general se plantean cuatro factores climáticos que suelen definir tanto el tipo, inclinación del techo, como la orientación de las estructuras: la radiación, el viento, la precipitación pluvial y la temperatura extrema.

#### Radiación

La radiación solar puede ser considerada desde dos puntos de vista, que normalmente resultan difíciles de disociar. Por un lado, el efecto sobre la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa por el ángulo de incidencia que tenga según la disposición del techo (N-S o E-O), y por otro con respecto al reparto de la misma en el dosel del cultivo, según éste se encuentre dispuesto en un sentido u otro. También ambos factores se modifican según la latitud y época del año, agravándose el problema de captación de la radiación en los meses de invierno en regiones de altas latitudes.

En general, puede manifestarse que la orientación de cumbre de las estructuras en el sentido E-O favorecerá la captación de radiación y la capacidad de acumulación de calor en el suelo del invernadero, incrementando así el balance de energía del invernadero en comparación con las orientadas en el sentido N-S. Para producir en latitudes superiores a 30-35°, en las cuales, a medida que aumenta la latitud, la radiación se vuelve más limitante durante los meses de otoño e invierno y el ciclo de temperatura adecuada para los requerimientos de los cultivos hortícolas es muy

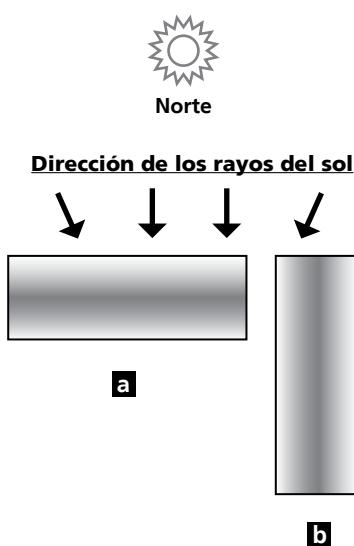


Figura 2. A, invernadero de orientación E-O y B, invernadero de orientación N-S.

acotada, es recomendable la construcción de los invernaderos en el sentido E-O. Sin embargo, para las regiones subtropicales para la decisión de la orientación más conveniente generalmente no se considera el efecto de la incidencia de la radiación sino el efecto de los vientos de manera que permitan favorecer la ventilación. (figura 2 y figura 3).

### Viento

La protección frente a características no deseables del viento es una vía para crear un ambiente más adecuado a los objetivos cuando se plantea antes de la construcción de un invernadero. Cabe subrayar que el sistema más difundido de defensa frente al viento es el cortavientos arbóreo, que si bien es imprescindible para disminuir los eventuales daños materiales, debe considerarse una adecuada implantación y diseño, además de realizar medidas complementarias en determinadas situaciones y condiciones climáticas.

Para tener en cuenta la importancia de la fuerza ( $F$ ) ejercida por el viento directo sobre un invernadero, se debe tener en cuenta que la misma es una función del área de oposición al viento ( $A$ ) y de la presión ( $P$ ) del mismo, según se observa en la siguiente ecuación:

$$F = A \cdot P$$

Donde:

$F$  es la resistencia al avance, o ejercida por el viento;

$A$  es la proyección del área del frente de ataque y

$P$  la presión misma del viento.

La importancia de reducir la velocidad del viento mediante estructuras disipativas de su energía (como cortinas de árboles o cortinas de malla cortavientos de tipo raschel) es que la presión es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del viento, según puede observar en la siguiente ecuación:

$$P = 1,22 \cdot V^2$$

Donde:

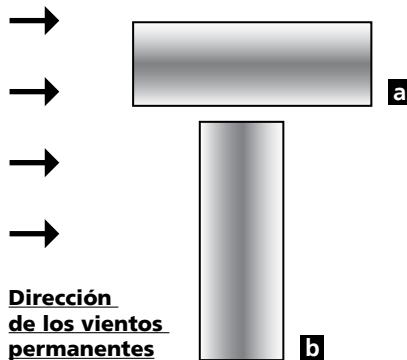
$P$  es la presión del viento ( $N \cdot m^{-2}$ ) y

$V$  es la velocidad del viento ( $m \cdot s^{-1}$ )

Cuando este factor pone en riesgo la resistencia de las estructuras de los invernaderos, es necesario ubicar las cortinas cortavientos con el eje mayor en dirección perpendicular a los vientos predominantes.

Ahora bien, la orientación de los invernaderos debería ser tal que el eje mayor coincidiera con la dirección de los vientos predominantes, sobre todo en zonas donde éstos pueden ser perjudiciales y reducir así la presión que ejercen, permitiendo una mayor resistencia de las estructuras. En el caso de la Patagonia, con vientos

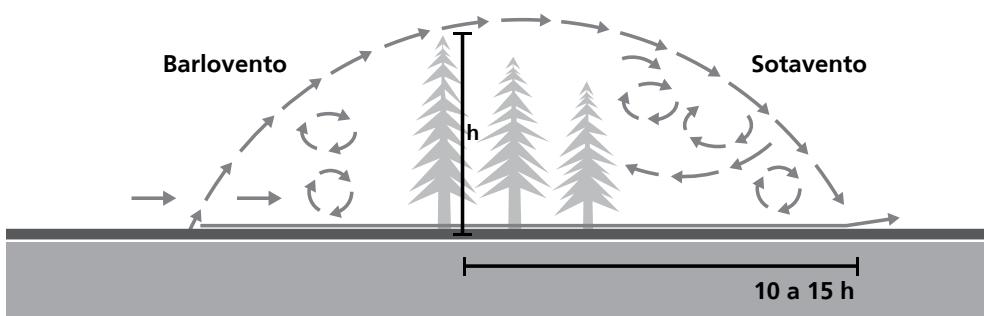
predominantes del oeste, se aconseja la orientación este-oeste (E-O), la cual va a permitir una mayor resistencia y mejor aprovechamiento de la luz (figura 3).



**Figura 3.** Orientación del invernadero con respecto al viento.

La reducción de la velocidad del viento en el área protegida por el cortavientos depende principalmente de su altura y porosidad (grado de apertura de la trama que afecta la permeabilidad al movimiento del aire). A mayor altura de la cortina, mayor será la longitud del área protegida. Respecto a la porosidad de la misma, idealmente, para ser más efectivo debería ser más poroso (menos denso) cerca de la superficie porque cerca de ella la velocidad del viento es menor, disminuyendo la porosidad logarítmicamente con la altura, siguiendo la variación de la velocidad del viento.

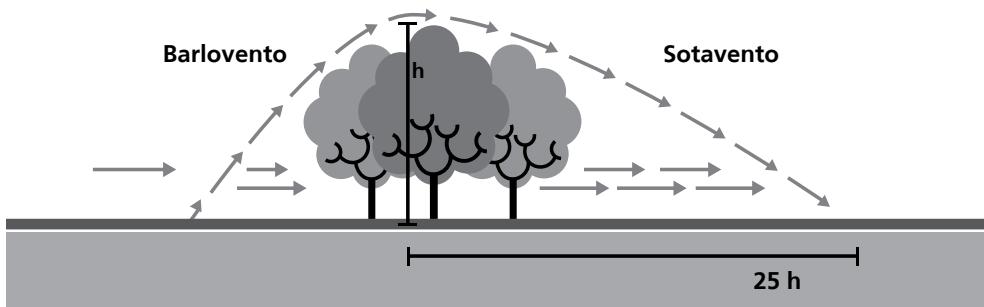
Si las cortinas son muy densas, la corriente de aire ascendente sobrepasa el cortavientos, se originan corrientes descendentes y se forma una cavidad o zona de flujo circular de baja velocidad lineal, pero de alta vorticidad (formación de torbellinos), generando una gran disipación de energía, como consecuencia de la alta turbulencia allí generada. Esto puede llegar a ser contraproducente con respecto a los efectos que se quieren conseguir. Esto es provocado debido a que en casos de cortinas muy



**Figura 4.** Influencia de una cortina cortavientos densa en la formación de torbellinos.

densas, se origina un efecto de tipo 'venturi' a sotavento que disminuye varias veces la presión atmosférica. Esto determina un cambio en la dirección de los vectores de viento dañando seriamente las estructuras y provocando incluso roturas por levantamiento de los techos debido a la baja presión atmosférica originada (Figura 4).

En cambio, si se colocan cortinas semipermeables, las corrientes de aire se dividen entre las que atraviesan la cortina disminuyendo su velocidad y las que ascienden y sobrepasan el cortavientos, originando corrientes descendentes suaves.



**Figura 5.** Flujo de viento a través de una cortina cortavientos semipermeable.

En cuanto a las especies vegetales a utilizar en las cortinas, es deseable que las mismas sean de crecimiento rápido. También es importante aclarar que debe conservar suficiente distancia al invernadero para que ejerza el menor sombreo posible.

En nuestro país (desde el trópico de capricornio hacia el sur, y fundamentalmente en latitudes superiores a los 30° de latitud, tornándose necesarias en las regiones de Cuyo y Patagonia) se debe tener cortinas protectoras del sector sur y dependiendo de la zona, del oeste ó del este, nunca del norte ya que le restaría luz, principal recurso natural gratis. Si son de álamo tener cuidado con su cercanía, ya que lejos de ser una ventaja se convierten en un problema de competencia. En la región central del país, se utiliza con buen éxito cortina a base de casuarinas, las que tienen la ventaja de poseer un rápido crecimiento. Lo más aconsejable son cortinas cortavientos plásticas de más de 4 metros de altura, colocadas a 3-4 metros de la estructura, bien sujetas con postes y riendas.

### Precipitaciones

Si bien las precipitaciones en general no inciden directamente en el cultivo, las características que puedan tener las mismas sí afecta fuertemente en el diseño constructivo del invernadero.

### Lluvia

La forma más frecuente de precipitación, la lluvia, es una precipitación desde nubes formadas debido a corrientes de aire ascendentes que ocurren por la irradia-

ción terrestre, las que en su ascenso disminuyen su temperatura hasta alcanzar la del punto de rocío, momento en que condensa la masa de aire húmedo. Cuando esto ocurre se forma la nube, la que está constituida por pequeñas gotas que miden entre 0.004 y 0.1 mm, están en continuo movimiento al encontrarse suspendidas en el aire. Al coalesce las mismas, se forman gotas de mayor tamaño de manera que por gravedad precipitan, de manera que el tamaño de las gotas que alcanzan el suelo varía entre 1 y 5 mm de diámetro.

La importancia de las lluvias para la construcción de un invernadero está dada más por el régimen de caída que por su distribución anual. En esto tiene importancia el tamaño de la gota para establecer las resistencias del plástico y la estructura, y por otro lado la máxima intensidad horaria, ya que condiciona el diseño y construcción de la canaleta, lo cual se verá en otro apartado.

**Tabla 4.** Tipos de gotas de lluvia.

Diámetro ( $\mu$ )	Velocidad terminal (m/seg)	Observaciones
5000	8.9	Grandes gotas de lluvia
1000	4.0	Pequeñas gotas de lluvia
500	2.8	Lluvias más finas
200	1.5	Llovizna

En general, en la bibliografía no se encuentran referencias con respecto al tema, pero que debemos considerar que la estructura que soporta el invernadero, aparte de su propio peso y las de los tutores utilizados en el cultivo de algunas especies, debe soportar otras cargas como el viento, el peso de la lluvia o la nieve. Es por eso que cuanto mayor es la cantidad máxima de caída (lluvias torrenciales), mayor debería ser la pendiente del techo para lograr un rápido escurrimiento. Este factor se debe equilibrar con lo visto en el apartado sobre inclinación del techo por efecto de la radiación.

### **Granizo**

La única nube que produce granizo es el cumulonimbo, debido a sus fuertes corrientes ascendentes convectivas, que arrastran gotas de lluvia formadas por condensación intensa y por colisión-coalescencia, hasta niveles más altos donde se congelan cristalizándose en forma de granizo. Estas gotas congeladas caen nuevamente al alcanzar niveles de menor convección, recubriendose de hielo al chocar con gotas subfundidas. Los movimientos alternativos ascendentes y descendentes repetidos dan lugar a capas concéntricas de hielo opaco o cristalizado.

El tamaño de los trozos de hielo dependerá de la cantidad de gotitas y cristales que recoja en un descenso continuado, habiéndose encontrado granizos de hasta 1 kg de peso.

Se denomina Granizo Blando cuando no rebota al chocar con el suelo. También conocido como granizo pequeño, gránulos de hielo o graupel. Son más grandes que

los granos de hielo y más pequeños que el granizo duro. Los granos de hielo se forman por la precipitación de bolitas de hielo transparentes de forma irregular, cuyo diámetro es de 5 mm o menor. Los granos provienen de bolitas de nieve envueltas por una fina capa de hielo.

El Granizo Duro es aquel que rebota al impactar en el suelo, con tamaño que va desde los 5 mm hasta los 2 cm. Se denomina Piedra ó Pedrizca cuando las piedras tienen más de 2 cm de diámetro.

Por lo tanto, se deben tener los antecedentes de la frecuencia y tipo de granizo en cada zona, y de ser necesario, se debe colocar una cubierta antigranizo por sobre el invernadero, como es el caso de Mendoza, que se describe en la segunda parte de este libro.

### **Nieve**

La nieve es resultado de un fenómeno meteorológico que consiste en la precipitación de pequeños cristales de hielo. Los cristales de nieve adoptan formas geométricas con características fractales y se agrupan en copos. Está compuesta por pequeñas partículas ásperas y es un material granular. Normalmente tiene una estructura abierta y suave, excepto cuando es comprimida por la presión externa.

Aunque la densidad de la nieve varía extensamente, una guía es que la profundidad de las nevadas es 10 veces mayor que la de las precipitaciones pluviales que contienen la misma masa de agua.

En el caso de la construcción de invernaderos, para el cálculo de la sobrecarga por nieve se suele utilizar los coeficientes provenientes de los establecidos para la construcción de edificios (Alpi y Tognoni, 1991)

En este sentido, para la República Argentina, el INTI desarrolló un estudio para establecer los coeficientes de carga para cada zona del país, sumamente detallado, distribuido por departamentos dentro de cada provincia, según la intensidad de nieve. Además, hace referencia a la relación existente entre el ángulo de inclinación del techo con respecto a la carga por nieve. Por tanto, para poder definir qué carga de nieve debe soportar un invernadero, se debe recurrir al Reglamento SIRSOC 104 (INTI 1997).

### **Temperatura**

La estructura de invernadero que se adopte para cada región debe permitir condiciones adecuadas para los cultivos. Si se trata de cultivos de fruto (tomate, pimiento), será necesario controlar tanto las bajas como las altas temperaturas. En tal caso el diseño de la estructura deberá considerar dimensiones que permitan optimizar el empleo de la energía acumulada durante el día que nos permiten disminuir el gasto de calefacción y también habrá que diseñar aberturas suficientes como para permitir una buena ventilación durante las horas de calor. Esto significa que en la región norte de nuestro país (Corrientes, Salta y Jujuy) las estructuras deben estar

diseñadas observando más la ventilación, mientras que hacia el sur (Patagonia), el diseño debe tender a lograr la mayor estanqueidad posible para una mayor eficiencia de retención del calor.

Las hortalizas de fruto se ven altamente afectadas por las temperaturas extremas. Las temperaturas superiores a los 35 °C impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por ende, afectan el crecimiento de los frutos. Por otro lado, las temperaturas inferiores a 12 °C afectan adversamente el crecimiento de la planta. Las temperaturas son especialmente críticas durante el período de floración, ya que por encima de los 25 °C o por debajo de los 12 °C la fecundación no se produce. Durante la fructificación las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las mismas. En tomate, la calidad de los frutos puede ser afectada con temperaturas extremas ya que por encima de los 30 °C, o por debajo de los 10 °C, los frutos adquieren tonalidades amarillentas.

## Tipo de invernadero

### Dimensiones del invernadero

Cuando se proyecta la construcción de un invernadero, es necesario tener en cuenta que la relación largo-ancho juega un rol muy importante en el microclima que se generará en su interior. De esta relación depende la superficie expuesta del invernadero, o dicho en otras palabras, los metros de paredes que están en contacto con el ambiente exterior (Francescangeli y Mitidieri. 2006).

Las pérdidas de calor del invernadero son directamente proporcionales a su superficie expuesta: cuanto mayor sea, más se enfriará el interior de la estructura lo cual puede ser beneficioso en regiones cálidas y perjudiciales en otras regiones con climas templados a fríos.

Para graficar mejor lo expresado, se puede observar este hecho mediante un ejemplo simple:

Un invernadero que cubra una superficie de suelo de 1000 m<sup>2</sup> puede obtenerse tanto con una estructura de 10m x 100m (A) como con otra de 20m x50m (B), tal como se observa en la Figura 6.

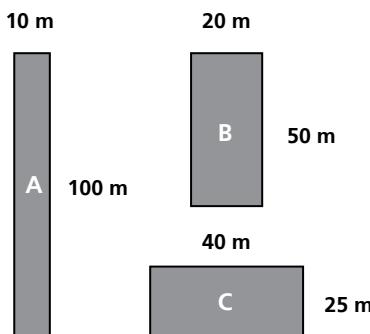


Figura 6. Ejemplo del efecto de la utilización de dos estructuras de invernaderos con una superficie de suelo de 1000 m<sup>2</sup> cada una y diferentes dimensiones periféricas sobre la superficie de cobertura de los mismos.

Supongamos que ambos invernaderos tienen una altura lateral de 2,5 m. Con estos datos se calcula la superficie total de paredes:

#### Estructura A:

$$\text{Frentes } 2 * 10\text{m} * 2,5\text{m} = 50 \text{ m}^2$$

$$\text{Laterales } 2 * 100\text{m} * 2,5\text{m} = 500 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie total de paredes} = 550 \text{ m}^2$$

**Estructura B:**

Frentes  $2 * 20m * 2,5m = 100 m^2$

Laterales  $2 * 50m * 2,5m = 250 m^2$

Superficie total de paredes = **350 m<sup>2</sup>**

**Estructura C:**

Frentes  $2 * 40m * 2,5m = 200 m^2$

Laterales  $2 * 25m * 2,5m = 125 m^2$

Superficie total de paredes = **325 m<sup>2</sup>**

Esto significa que la diferencia en la superficie expuesta de las paredes entre las estructuras A y B es de  $200 m^2$ , que representa un 36% más en la estructura A. A mayor área de transferencia, mayor intercambio de calor con el ambiente externo, por lo tanto menor inercia térmica. Esto indica que el invernadero A será más frío en invierno, con lo cual necesitará mayor potencia térmica para lograr la misma temperatura interior y demandará más combustible para su calefacción que la estructura B. Además, su cobertura requerirá 36% más de polietileno. Un indicador útil para evaluar esto, es la relación de superficie de cobertura (SC) / superficie de suelo cubierto (SS). Cuanto mayor es esta relación, mayor es la ventaja en climas cálidos y relativamente más inconveniente en climas fríos (Bouzo y col., 2006; Bouchet y col., 2007).

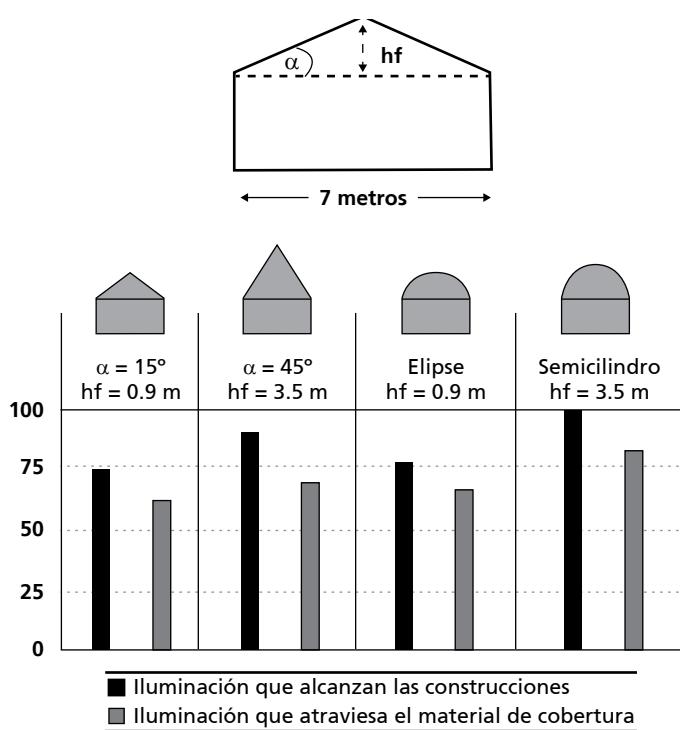
Sin embargo, si estamos en una zona cálida, donde los inviernos son benignos, tal vez sea más conveniente tener mayor superficie de ventanas para lograr una mejor ventilación, tal como se verá en el apartado sobre este tema.

Por lo tanto, dependiendo del lugar donde nos encontremos, el largo y ancho del invernadero tiene que ver con el manejo posterior de las condiciones climáticas (Bouchet y col., 2008). Para zonas más frías se aconsejan invernaderos no menores de 12 metros de ancho y no mayores de 24 metros, en lo posible de formas más cortas que largas, esto permite un adecuado manejo de la temperatura interna. Esta situación deseable, se acentúa más aún si los invernaderos se construirán acoplados lateralmente en varias unidades. Hacia zonas más templadas debe tenerse en cuenta que si el largo es menor a 50 m, la superficie expuesta aumenta notablemente y anchos menores a 10 m resultan sumamente ineficientes para conservar el calor. Contrariamente a lo que ocurriría en zonas más cálidas.

La superficie expuesta aumenta con la pendiente del techo y con la altura de la estructura en menor medida que con la relación largo: ancho. La pendiente del techo será analizada en el apartado siguiente. En cuanto a la modificación en la altura, implica por un lado mayor superficie de intercambio, aunque también mayor volumen de aire, con lo cual se contrarrestan los efectos negativos de una menor inercia térmica por una mayor superficie de exposición, con los de una mayor inercia térmica por mayor volumen de aire dentro del invernadero, a lo cual se suman los beneficios de una mayor superficie potencial de ventilación y mayor comodidad para los trabajos, con lo cual, la altura a canaleta, o lateral, no debería ser inferior a 2,5 metros.

### Forma y pendiente de la cubierta del invernadero

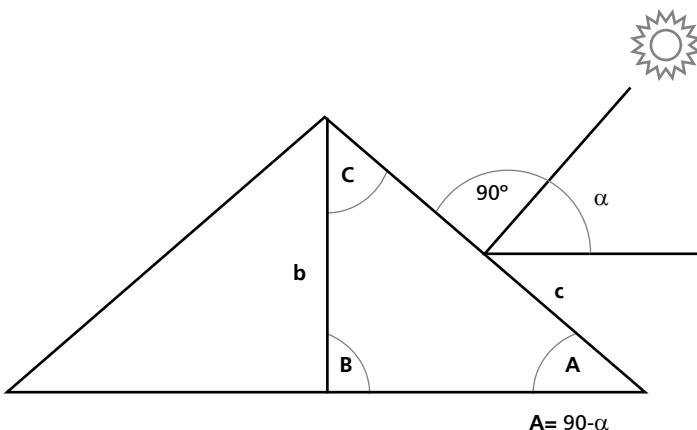
En zonas de latitudes medias a altas, donde se encuentra la mayor superficie de invernaderos del mundo, la duración e intensidad de la luz solar son factores limitantes en la producción de hortalizas durante el invierno. Mediciones realizadas en distintas situaciones demuestran que los techos curvos transmiten mayor cantidad de luz que los planos, y que en éstos últimos, la pendiente influye notablemente. Nisen, 1963; Bouzo y Pilatti, 1999; Bouchet y col., 2002. Este efecto de la pendiente del techo sobre la transmitancia se incrementa cuando los invernaderos se construyen en regiones de latitudes mayores a  $35^{\circ}$ . Por ejemplo, Nisen (1963) realizando medidas a  $50^{\circ}$  de latitud observaron diferencias en los valores de incidencia de la radiación solar y transmitancia entre cuatro diferentes tipos de techos (Figura 7).



**Figura 7.** Cantidad de luz recibida por un invernadero en relación a la forma del techo (adaptado de Nisen, 1963).

La elección de la pendiente adecuada en los techos a dos aguas favorece la entrada de luz al invernadero. Si tomamos en cuenta que cuanto más cercana a la perpendicularidad inciden los rayos solares con respecto al techo del invernadero, el albedo tenderá a ser mínimo y la penetración será máxima. Precisamente, la relación entre la intensidad de la radiación que ingresa al invernadero con respecto a la que incide sobre su techo, es conocida con el nombre de transmitancia. Por lo tanto, si comparamos la inclinación de los rayos solares en distintas latitudes, veremos que,

según la figura 8, para lograr esa perpendicularidad, deberá diseñarse el ángulo del techo considerando que primero tendremos que calcular el ángulo de elevación solar ( $\alpha$ ) con respecto a la superficie terrestre, y luego obtener la diferencia entre  $90^\circ$  y el ángulo  $\alpha$ .



**Figura 8.** Inclinación del techo según la inclinación de los rayos solares

En la siguiente tabla se muestran los valores para algunas zonas representativas como ejemplo, y para los dos extremos (solsticios de invierno y verano) y el medio (equinoccios).

**Tabla 5.** Valores de inclinación de los rayos solares (altitud solar) y ángulos de techo para lograr la perpendicularidad.

Latitud	Lugar	Solsticio de invierno	Equinoccios	Solsticio de verano			
		$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$	A
23	Pichanal (Salta)	44	46	67	23	90	0
28	Bella Vista (Corrientes)	39	51	62	28	85	5
35	La Plata (Bs. As.)	32	58	55	35	78	12
39	Alto Valle (Río Negro)	28	62	51	39	74	16
51	Río Gallegos (Santa Cruz)	16	74	39	51	62	28

Este comportamiento entre el ángulo de altitud solar y de techo es válido siempre y cuando los invernaderos estén dispuestos con el eje longitudinal de E a O. De esta manera, la techumbre expuesta hacia el Norte permitiría aprovechar este fenómeno. Conviene mencionar también que en casos de invernaderos acoplados lateralmente y con el eje E a O, en temporadas cercanas al solsticio de invierno (con baja altitud solar) puede haber incluso sombreadamiento de un techo sobre el otro, lo que reduciría la ventaja antes expuesta. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la anterior es una aproximación teórica que permite diseñar el ángulo del techo para una mayor transmitancia de la radiación solar. Sin embargo, no se mantiene tal

perpendicularidad durante un mismo día, debido a que a diferencia del ángulo del techo que es constante, el ángulo de elevación solar es máximo al mediodía astronómico disminuyendo antes y posterior a dicha hora.

En zonas de latitudes medias a altas, las pendientes en pleno invierno deberían ser en muchos casos superior a los 45° (tal como puede observarse para el Alto Valle de Río Negro), lo cual dificulta mucho la practicidad de la construcción. A su vez, se puede observar que tomando el valor de los equinoccios estaríamos en situaciones más reales y nos permitiría lograr una adecuada transmitancia durante la mayor parte de la época crítica.

El otro punto en discusión sobre la forma y los ángulos del techo tienen que ver con la superficie expuesta. Hay que tener en cuenta que para el balance de energía de un invernadero se debe considerar tanto el período diurno como el nocturno. Este balance determina que la transferencia de calor ocurre de afuera hacia adentro en el día y al contrario en la noche. Cuando se tiene superficies curvas en el techo, aumenta el área de transferencia hacia fuera en la noche. Por esta razón se debe analizar también el techo como superficie expuesta. Y esto también tiene que ver con respecto al ángulo de inclinación de los techos rectos, los cuales no deberían ser excesivos para evitar esas transferencias de calor.

#### **Tipo de cubierta del invernadero**

La cubierta del invernadero es el tercer factor de importancia en la construcción del mismo, ya que una cubierta inadecuada en una estructura óptima malogrará todos los beneficios contemplados en la inversión. El primer tema es el tipo de material. Si bien el vidrio posee las mejores propiedades ópticas y térmicas, las estructuras para sostenerlo y el costo total es elevado, lo que hace que el material más utilizado sean los materiales flexibles, y dentro de los mismos en nuestro país lo es el polietileno. Como en el mercado existen distintas clases de polímeros, haremos una descripción de los mismos para una correcta elección.

El diseño y la estructura de invernadero se deben adecuar al tipo de material que se elija como cubierta, ya que éste determinará el peso que deberá soportar la estructura, y por lo tanto, el espacio que deberá haber entre pilares, barras de soporte, correas, distancia entre canal y cumbre, y forma del techo.

Las láminas plásticas flexibles utilizadas como cubiertas de invernadero están basadas principalmente en poliolefinas: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de baja densidad lineal (PEBDL) y copolímeros etilén-vinil acetato (EVA)

## CAPÍTULO 5

### Materiales utilizados como cubierta de los invernaderos

Para la correcta elección del material de cobertura de nuestro invernadero es necesario conocer las propiedades físico mecánicas, ópticas y térmicas de las películas plásticas, y evaluarlas en base al tipo de invernadero que tenemos, el cultivo que haremos, las condiciones climáticas del lugar y la rentabilidad que se quiera obtener.

#### Propiedades físico-mecánicas

- Peso: Comparado con el vidrio, las películas de plástico tienen menor peso por unidad de superficie, lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreo de una estructura pesada. Los materiales rígidos además de un peso mayor por superficie se comercializan en menores tamaños (largo x ancho) que los flexibles, con lo cual requieren un mayor número de soportes.
- Densidad: los materiales flexibles que se utilizan para cubiertas son mayormente poliolefínicos, presentando densidades menores a  $1\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . A mayor cristalinidad de los polietilenos, mayor densidad. La flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero dependen de su cristalinidad. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte unido a un menor precio.
- Espesor: Esta propiedad está relacionada con la transmisión de calor por conducción desde dentro del invernadero hacia el exterior, ya que la conducción depende por un lado del coeficiente de transmisión térmica del material y por otro lado del espesor del mismo. Las unidades de medida se expresan en milímetros para cubiertas de vidrio y plásticos rígidos y micrones para películas flexibles. ( $1\text{mm} = 1000\text{ }\mu$ ). Para proteger el cultivo de las bajas temperaturas se recomiendan películas plásticas de  $150\mu$  ó superiores, que contengan EVA y aditivos térmicos.

Resistencia mecánica: Las roturas de las películas pueden producirse por diferentes causas, como por ejemplo, por excesivo peso en caso de nieve, o por la fuerza del viento o por impacto del granizo, por inadecuada fijación en la estructura soporte, por ataque de vapores de agroquímicos (Cl y S), etc. Por eso hay una serie de ensayos físico-mecánicos que van indicando este tipo de resistencias, como por ejemplo, ensayos de tracción (tensión y elongación a la rotura), desgarre y resistencia al punzonado. También se evalúa la resistencia a la deformación por altas temperaturas, o por bajas temperaturas.

#### Propiedades ópticas

Transmisión de la radiación solar. Transmitancia. Es la propiedad de los materiales que permite la mayor o menor facilidad de trasmisión de la radiación solar,

y cuya expresión corresponde a la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultáneamente en el exterior, en unidades porcentuales (%). Los datos técnicos normales con respecto a la transmitancia, corresponden a las mediciones realizadas en condiciones de laboratorio mediante la incidencia de una fuente luminosa situada de manera normal a la película medida. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la transmisión depende a su vez del ángulo de incidencia de la cubierta. La energía solar al interior del invernadero siempre será menor a la que existe fuera de él debido a las propiedades de absorción y reflexión del material de cubierta y que dependen de: a) El tipo de cubierta utilizado; b) Su espesor; c) El nivel de limpieza de su superficie expuesto a cielo abierto; d) La condensación de agua; e) La degradación del plástico; f) La ubicación, orientación y forma de la cubierta; g) La climatología del lugar de instalación. Toda esta dependencia es circunstancial para que la transmisión de la energía solar al interior del invernadero se vea disminuida entre un 5 y un 40%, o incluso superior.

Turbidez (Haze o H). Se trata de una medición que determina el porcentaje de luz dispersada en un ángulo mayor a  $2,5^\circ$  con respecto al rayo incidente cuando éste pasa a través de una cobertura objeto de la medición. Las normas consideran que un material difunde cuando  $H > 30\%$

Índice de refracción: Este índice es una medida para saber cuánto se reduce la velocidad de la luz dentro del material que atraviesa. P. ej. para el vidrio es de 1,52. Polietileno Alta Densidad 1,54.

Difusión. Los plásticos pueden llevar aditivos que dispersen la radiación solar que atraviesa los mismos, y en vez de ingresar radiación directa ésta lo hace en forma difusa, otorgando propiedades deseables en cuanto al comportamiento agronómico pues elimina el efecto de sombra distribuyendo más homogéneamente la luz dentro del invernadero, como así también entre las plantas al disminuir el coeficiente de extinción de la luz en comparación con la luz directa. Resulta particularmente de gran importancia en la producción de cultivos hortícolas con alto índice de área foliar, normalmente conducidos con tutores en altura.

### Propiedades térmicas y comportamiento térmico

La capacidad de protección contra el frío de un material depende por un lado de su transmitancia para la radiación IR larga, y por otro de las pérdidas por conducción y convección a su través. En condiciones estables en laboratorio se mide un coeficiente K global de pérdidas caloríficas, que expresa el conjunto de pérdidas radian tes, convectivas y conductivas, y que permite comparar unos materiales con otros.

Se define "termicidad" de las películas plásticas como la retención del calor de las mismas e indica el porcentaje de radiación infrarroja (calorífica) que se retiene en el interior del invernadero. Se puede determinar el % de termicidad de las películas, midiendo por espectrometría infrarroja (FTIR) el espectro de transmisión de radiación IR entre  $1430 \text{ cm}^{-1}$  y  $770 \text{ cm}^{-1}$  (rango de campo de emisión máxima de la energía irradiada por la superficie de la tierra).

Por todo lo señalado, en la tabla 6 se presentan algunas características comparadas de los principales materiales plásticos utilizados en cubierta de invernadero.

**Tabla 6.** Cuadro comparativo de las propiedades de distintos tipos de cubiertas de invernaderos.

Características	Unidades	PEBD (Polietilenode-	EVA (Copolímero etilen-vinil acetato)	PVC ondulado (Policloruro de vinilo)	PMMA (Polimetacrilato de metilo)	Poliéster estratificado	Vidrio
<b>Propiedades físico mecánicas</b>							
Espesor	mm	≥ 0,1	≥ 0,1	1-2	4	1-2	3
Densidad	10 <sup>3</sup> kg m <sup>-3</sup>	0,91 a 0,92	0,92 a 0,93	1,4	1,18	1,5 a 1,6	2,4
Alargamiento a la rotura	(%)	400-500	650-900	50-100	Escasa	escasa	Nula
<b>Propiedades térmicas</b>							
Coeficiente de conductividad térmica	W. m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,29	0,35 a 0,41	0,15	0,16 a 0,17	0,17 a 0,23	0,7 a 0,9
Resistencia al frío y calor	°C	-40 a +50	-40 a +70	-20 a +70	-70 a +80	-70 a +100	Muy elevada
Duración	años	2	3	> 3	> 3	> 3	Muy elevada
<b>Propiedades ópticas</b>							
Índice de refracción		1,512	1,538	-	1,489	1,549	1,516
Transmisión radiación visible (380 a 760 nm)	%	70-85	70-85	77-80	85-93	70-80	87-90
Transmisión radiación solar (300 a 2.500 nm)	%	80	80	75	73	60 a 70	85
Transmisión radiación terrestre (5.000 a 25.000 nm)	%	73	60	0,00	0,00	0,00	0,00

(Fuente: Robledo y Martín. 1981; Serrano Cermeño. 2011)

### Envejecimiento

La exposición prolongada a la intemperie de los materiales plásticos lleva a su degradación por efecto de diversos factores como la radiación solar, calor, ozono, polución atmosférica, acción de los vientos, agua, granizo, tensión mecánica y contaminantes químicos. Entre estos, el factor más agresivo está dado por la componente ultravioleta

(UV) de la radiación solar, que provoca el envejecimiento del material plástico (Inocenti y col., 2012). Se considera que un material plástico está envejecido cuando retiene menos del 50 % de sus propiedades originales (mecánicas u ópticas). La durabilidad o vida útil de una película para invernadero dependerá de varios factores: tipo de material polimérico, naturaleza y concentración de aditivos, condiciones de procesamiento, condiciones ambientales y condiciones de instalación de la película en la estructura.

Por ser un tema muy importante, en la República Argentina se evaluó el desempeño de dos películas plásticas comerciales, de fabricación nacional, tricapa, (compuestas mayoritariamente por PEBD, PEBDL y EVA, con aditivos anti UV y térmicos) de espesores 100 y 150 micrones (los espesores más comúnmente utilizadas como cubiertas de invernadero en Argentina), sometidas a envejecimiento natural y acelerado. Se realizó la caracterización físico-mecánica, térmica, química y óptica de las mismas. Dichas caracterizaciones corresponden a las películas sin exposición, a las sometidas a exposición natural en siete zonas de Argentina (Buenos Aires, Corrientes, Jujuy, Río Negro, Santa Cruz, Córdoba y Mendoza) y a exposición artificial en cámaras UV de laboratorio. Los resultados corresponden a diferentes períodos de exposición natural en un total de 36 meses (con 10 extracciones a períodos regulares entre 3 y 36 meses) y a diferentes tiempos de exposición artificial en cámaras UV de laboratorio (500, 1000, 1500, 2000 y 2500 horas).

Cabe mencionar que parámetros tales como estructura del invernadero, tipo de cultivo, agroquímicos empleados y frecuencia de aplicación de los mismos, también tendrán influencia en la vida útil de las películas, pero no han sido motivo de estudio en el presente trabajo.

La caracterización química, térmica, físicomecánica y óptica de dichas películas comerciales para cubierta de invernadero permitió monitorear la evolución de sus propiedades a lo largo de tres años de exposición a intemperie en siete zonas diferentes del país y a envejecimiento acelerado en cámaras UV de laboratorio.

Como conclusiones generales de este trabajo, y considerando durabilidad estimada de las cubiertas de entre 2 a 3 campañas, en general se ha observado un buen desempeño mecánico, térmico y óptico de ambas películas estudiadas sometidas a diferentes condiciones climáticas durante el período de tres años de exposición. En el caso específico de elongación a la rotura, comparando ambas películas, se observó mejor % de retenido (con respecto a la película sin exposición) de dicha propiedad hacia el final de los 36 meses para la película de 150 micrones. Se plantea para futuros estudios ampliar los materiales a estudiar: diferentes tipos y concentración de aditivos y considerar otros factores que también afectan la vida útil de las películas plásticas tales como estructura del invernadero, tipo de cultivo, agroquímicos empleados y frecuencia de aplicación de los mismos.

#### **Tipos de materiales de cubierta de los invernaderos**

La importancia del material de cobertura en un cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se

vaya a construir el invernadero. La elección del material de cobertura dependerá de una serie de criterios o indicadores, que interaccionados entre sí, ayudarán al productor en la elección del material apropiado. Estos indicadores se pueden resumir en (Matallana y Montero, 1995).

- Respuesta agronómica debida al material empleado (precocidad, producción y calidad).
- Propiedades ópticas, térmicas y mecánicas del material de cubierta.
- Estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico

El material ideal no es el mismo para cada región, ya que en latitudes altas los requisitos serían: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, gran transparencia a las radiaciones solares, gran opacidad a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por suelo y planta durante la noche, alta resistencia a los vientos; en cambio para la zona subtropical, la protección sería un cierto efecto térmico para el inviernoreducción de la radiación infrarroja cercana<sup>1</sup> y resistencia a las altas precipitaciones en verano y con algunas características que mejoren el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

Los materiales de cubierta que se utilizan en el mundo se dividen en tres grupos (Matallana y Montero, 1995).

- Vidrio impreso o catedral.
- Plásticos rígidos: polimetacrilato de metilo (PMMA), policarbonato (PC), poliéster con fibra de vidrio, policloruro de vinilo (PVC).
- Plásticos flexibles: policloruro de vinilo (PVC) y poliolefínicos: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de baja densidad lineal (PEBTL), copolímero etilén vinil acetato (EVA) y materiales coextruidos.

Por la versatilidad, economicidad y disponibilidad en el mercado, en Argentina se utilizan principalmente los plásticos flexibles basados en poliolefinas, y fundamentalmente el PEBD, PEBDL y combinados con EVA, por lo tanto, describiremos a continuación solamente éstos materiales.

#### **Detalle de los materiales de cobertura plástica que se comercializan en el país**

En la actualidad el Polietileno (PE) es el plástico flexible más empleado para forzado de cultivos en invernaderos, semiforzado mediante túneles y protección a través de acolchado de suelo. Esto se debe principalmente a su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones.

El polietileno es un derivado del petróleo y se obtiene mediante la polimerización del etileno utilizándose en su fabricación varios procesos y sistemas catalíticos.

<sup>1</sup>El empleo de cubiertas plásticas que filtran fuera del invernadero la radiación infrarroja cercana (NIR, por su sigla en inglés) puede ser una alternativa para reducir el balance de energía y consecuentemente la temperatura del invernadero sin afectar la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa.

La mayor parte del PE para invernaderos se fabrica por el proceso de alta presión y catálisis de radicales libres mediante peróxidos.

Una de las características del PE es que su alargamiento a la rotura es cercano al 500 %. Un material se considera degradado cuando su elongación a la rotura se ha reducido en un 50 % respecto de su valor inicial. El PE se degrada por la radiación UV principalmente y el oxígeno, por lo que la exposición permanente a la intemperie provoca su rotura al disminuir las propiedades mecánicas.

Para evitar esto es común añadir en el proceso de fabricación del PE diversas sustancias denominadas aditivos que alargan la vida útil del material:

- Absorbentes de radiación UV (derivados de benzotriazoles y benzofenona).
- Secuestradores de radicales libres.
- Desactivadores (sales orgánicas de níquel).
- Estabilizantes (Hindered Amines Light Stabilizers-HALS).

Así existen dos grandes grupos de aditivos:

- *Aditivos de proceso.* Destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero.
- *Aditivos de aplicación.* Se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas en las películas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, aditivos antigoteo, pigmentos,

El PE transparente tiene una absorción de la radiación que puede oscilar entre el 5 y el 30% en los espesores utilizados en agricultura el poder de reflexión es de 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según ésto, la transparencia o más apropiadamente la transmitancia del PE está comprendida entre el 70-85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

Considerando su densidad los PE se clasifican en: Baja densidad: < 930 kg\*m<sup>-3</sup>; Media densidad: 930 – 940 kg\*m<sup>-3</sup>; Alta densidad: > 940 kg\*m<sup>-3</sup>.

Para el cerramiento de invernaderos se utiliza especialmente el de baja densidad –PEBD ó LDPE en Inglés- que tiene baja cristalinidad, su estructura es de tipo ramificado, (lo que le otorga la característica de menor densidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). También se pueden encontrar PEBD lineales (LLDPE).

El PEBD es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. El de alta densidad tiene más resistencia que el PVC flexible pero menos que el resto de los demás plásticos. Otra característica negativa es que se desgarra con facilidad.

El PE no se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero.

La coextrusión de varias películas es un proceso industrial mediante el cual se pretende combinar distintas propiedades para mejorar las prestaciones del material plástico, que no pueden ser reunidas por un polímero único. En el mercado destacan

los plásticos bicapa, tricapa y pentacapa. Los plásticos tricapa están formados por tres láminas unificadas por coextrusión, y cada una de las capas le otorga determinadas características a la película final.

Las características que se describen a continuación son a modo de ejemplo y no excluyentes, ya que en casi todas está presente la resistencia a la degradación:

- *Capa externa.* Resistencia a la degradación por UV, resistencia al rasgado, rigidez, transparencia y evitar la fijación de polvo.
- *Capa intermedia.* Efecto termoaislante, elasticidad y difusión de la luz.
- *Capa interna.* Efecto termoaislante, resistencia a los agroquímicos y antigoteo.

El PE y EVA son los materiales más utilizados en la coextrusión.

El copolímero EVA utilizado en películas agrícolas tiene un contenido de AV (acetato de vinilo) que oscila entre el 6 % y el 18 %. Un mayor contenido en AV aumenta la termicidad (opacidad al IR) de la película pero disminuye su resistencia mecánica. Esta formulación mejora las propiedades físicas del polietileno incluyendo su resistencia a la rotura en bajas temperaturas y al rasgado. Así la coextrusión de EVA entre dos capas de PE limita la transmisividad al IR a valores inferiores al 10 % mejorando la transparencia a la transmisión solar y dando mayor resistencia a la rotura al material resultante.

El copolímero EVA resulta más caro que el polietileno térmico. De entre los films plásticos es el que presenta una mayor resistencia a los UV. Los problemas más importantes que presentan los copolímeros EVA son su excesiva plasticidad (cuando se estiran no se recuperan), gran adherencia al polvo lo que puede provocar reducciones de hasta un 15 % en transmisividad a la radiación solar. Son difíciles de lavar debido a su alta carga electrostática.

Las láminas de copolímero EVA con un alto contenido de acetato de vinilo (AV), no son los recomendables para cubierta de invernadero en lugares geográficos con excesiva luminosidad y temperaturas elevadas, por las grandes dilataciones que sufre este material (cuanto más porcentaje de AV mayor dilatación con calor), que luego da lugar a bolsas de agua de lluvia y la rotura por el viento.

En líneas generales, los plásticos que se comercializan en nuestro país para uso en invernaderos corresponden mayormente a películas coextrudadas que contienen PEBD, PEBDL y copolímeros Eva, en una amplia gama de variedades en cuanto a espesores, anchos y largos. Se describen a continuación las formulaciones más comunes y las medidas estándar que se pueden conseguir. La lista no es taxativa, y además las empresas pueden llegar a fabricar otras combinaciones tanto de aditivos como de medidas, en cuanto a espesores y anchos.

#### ***PEBD sin propiedades de larga duración (Anti UV) y sin efecto térmico (Cristal)***

Presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas. En el PE transparente normal se forma una lámina de agua, que aunque tie-

ne inconvenientes para los cultivos, retiene un poco el calor que emiten las plantas y el suelo durante la noche.

Las láminas de PE normal, cuando se utilizan como cubierta de invernadero, si en su composición no tienen antioxidantes e inhibidores de rayos UV, la duración de éste tipo de plástico no excede el año, reduciéndose en algunos casos hasta 4 meses cuando la luminosidad es muy fuerte y prolongada y las oscilaciones térmicas son considerables. Por lo tanto, estos plásticos se usan como doble techo, para solarización o para macro túneles y túneles pequeños.

**Tabla 7.** Características de extensión y espesor de los films de PEBD Cristal disponibles en Argentina en forma estándar

Ancho (m)	Espesor (μ)	Largo (m)
1,30	20 y 25	1000
1,40	25	1000
1,60	25	1000
4,20	25, 27 y 30	400
1,40	30	1000
1,60	30	500
1,80	30	500
2,00	30	500
1,80	50	200
3,60	50	100
4,20	50	100
7,20	50	100
2,00	100	100
7,00	100	100
8,00	200	50

#### *PEBD larga duración sin efecto térmico*

Este tipo de PE tiene características similares al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los estabilizantes que lleva en su composición. La duración de este tipo de plástico es de 2 a 4 años, según la luminosidad y el régimen de viento al que se éste expuesta la lámina.

**Tabla 8.** Características de extensión y espesor de los films de PEBD LD sin efecto térmico disponibles en Argentina en forma estándar.

Ancho (m)	Espesor (μ)	Largo (m)	Observaciones
1,00	200 y 250	100	
1,40	200 y 250	100	Uso en canaletas

1,20	100 y 150	100	
1,40	100 y 150	100	
1,60	100 y 150	100	
1,80	100 y 150	100	
2,00	100 y 150	100	
2,20	100 y 150	100	
2,50	100 y 150	100	

Uso en túneles, zócalos y laterales

#### **PEBD larga duración con efecto térmico**

El PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (La permeabilidad ó trasmisión a las radiaciones longitud de onda larga que emite el suelo, es menor cuanto mayor es el grosor del film, llegando a un 18% de permeabilidad en 200 micrones). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas absolutas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de PE normal.

El PE transparente térmico, por los aditivos que se emplean en su fabricación, tienen un gran poder de difusión de la luz, que en algunas marcas comerciales puede llegar al 55% de la radiación luminosa que atraviesa la lámina de plástico.

**Tabla 9.** Características de extensión y espesor de los films de PEBD LD Térmico disponibles en Argentina en forma estándar.

Ancho (m)	Espesor (μ)	Largo (m)
1,80	100 y 150	100
2,00	100 y 150	100
2,20	100 y 150	100
2,50	100 y 150	100
3,60	100 y 150	84 y 100
4,00	100 y 150	84 y 100
4,20	100 y 150	84 y 100
7,20	100 y 150	50
8,00	100 y 150	50
9,00	100 y 150	50
12,00	150 y 200	50

#### **PEBD larga duración con efecto térmico y antivirus**

Uno de los problemas en la producción forzada bajo invernadero es la aparición de plagas de consideración como las moscas blancas (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*) que transmiten geminivirus (TYLCV, Tomato Yellow Leaf Curl Gemi-

nivirus, virus del enrollado foliar amarillo o de la cuchara, entre otros). En pimiento, aparte de las moscas blancas ya mencionadas, son importantes como transmisores de virus, el trips californiano de las flores *Frankliniella occidentalis* (Pergande), el pulgón verde *Myzus persicae* (Sulz.) y el ácaro blanco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). Otras plagas pueden requerir aplicaciones específicas pero se controlan con relativa facilidad.

El uso desmesurado de pesticidas en la protección de los cultivos ha provocado en las poblaciones de insectos la aparición de resistencias a estas sustancias químicas y por tanto, una reducción de su eficacia. El abuso de pesticidas contribuye también a la contaminación del medio ambiente y a la comercialización de productos contaminados.

Esta evolución negativa hace que se desarrolle la lucha integrada, que tiene por objeto fundamental limitar el empleo de productos químicos e introducir métodos alternativos.

Uno de los aspectos en que la industria plástica ha intervenido para solucionar este problema es el desarrollo de plásticos fotoselectivos, los cuales impiden el paso de radiación en la longitud de onda del espectro visible de los insectos plaga. Dicho de otra forma, estos plásticos dificultan la visibilidad de determinados insectos perjudiciales en los cultivos hortícolas pero dejan pasar toda la radiación fotosintéticamente activa. Éstos plásticos fotoselectivos bloquean ciertas longitudes de onda dentro del espectro UV (280 a 390 nm). Por interferir en el visible de los insectos que transmiten virus, es que se los denomina "antivirus", siendo en realidad antiinsectos.

**Tabla 10.** Características de extensión y espesor de los films de PEBD LD Térmico Antivirus disponibles en Argentina en forma estándar.

Ancho (m)	Espesor (μ)	Largo (m)
3,60	100	100
4,00	100	100
4,20	100 y 150	100
7,20	100 y 150	50
8,00	100 y 150	50
9,00	100 y 150	50
12,00	150 y 200	50

#### **PEBD larga duración con efecto térmico y antigoteo**

Con este tipo de plástico se intenta aumentar la transmisividad y reducir el ataque de enfermedades. Como principales desventajas presentan una rápida pérdida de los aditivos y una importante acumulación de polvo por su carga electrostática.

Están aditivados con elementos que modifican la tensión superficial, haciendo que la gota de agua en contacto con el material de cubierta tenga un ángulo más pequeño, tendiendo a ser plana. Esto hace que las gotas que se condensen en la cara interna del plástico tiendan a unirse unas a otras.

Si la estructura y la pendiente de la cubierta permiten la eliminación de esa capa de agua, se evitará el goteo sobre los cultivos y por tanto el riesgo de enfermedades y quemaduras. En estructuras con poca pendiente y malla de alambre para sujetar el material de cubierta esta evacuación no es posible.

La forma plana de las gotas aumentará la transmisividad al reducir las reflexiones de la luz.

El problema de los aditivos antigoteo radica en su corta vida ya que son fácilmente degradables por la radiación solar, aunque actualmente se trabaja en nuevas formulaciones donde los aditivos antigoteo permanezcan durante toda la vida útil del plástico, o con películas tri y pentacapa donde se pueda regular este efecto y hacerlo más duradero.

**Tabla 11.** Características de extensión y espesor de los films de PEBD LD Térmico Antigoteo disponibles en Argentina en forma estándar.

Ancho (m)	Espesor ( $\mu$ )	Largo (m)
3,60	100 y 150	100
4,20	100 y 150	100
7,20	100 y 150	50
8,00	100 y 150	50
9,00	100 y 150	50
12,00	150 y 200	50

### Otras formulaciones

**Repelencia al polvo.** Con el paso del tiempo las cubiertas plásticas suelen acumular partículas de polvo, especialmente en zonas de baja precipitación y desérticas, o zonas altamente pobladas e industriales, que provoca una pérdida gradual de la transmisión de luz al interior del invernadero. La acumulación de polvo puede llegar a disminuir la entrada de luz en más del 30 %, comparado con un plástico nuevo. El efecto de la adherencia del polvo es producido por las cargas que posee el PE y sobre todo con una pobre plastificación de las películas, producidas por el desgaste o suciedad de las extrusoras. Por lo tanto, se trata de plastificar bien y de bajar cargas en capa externa, y sobre todo alejar el EVA de la capa externa, dado que su adhesividad empeora por pegado del polvo, por ello se fabrican películas con varias capas y el EVA se coloca en las capas internas. Además existen en el mercado materiales para cubierta con propiedades autolimpiables mediante la modificación del ángulo de contacto que el agua forma sobre la superficie, presentando los que se conoce como "efecto Loto" o "autolimpiante".

**Plásticos fríos.** (para zonas tropicales) Los plásticos fotoselectivos modifican la cantidad y calidad de la radiación. En la zona del infrarrojo cercano (700 – 1000  $\text{nm}$ ) se induce un alargamiento en la planta. Estudios sobre la fotomorfogénesis han mostrado la gran influencia que ejerce la calidad espectral de la radiación sobre el

crecimiento y desarrollo de las plantas. La relación de los flujos de fotones rojo / rojo lejano (610 – 700 / 700 – 800 nm) actúa sobre un alargamiento de los tallos. En el rojo (610 – 700 nm) y azul (410 – 510 nm) es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación PAR. Así se han formulado plásticos que permiten seleccionar estas longitudes de onda del infrarrojo y por tanto adaptarlas a las necesidades lumínicas de la planta durante su desarrollo fenológico, fomentando así los niveles de producción. Esto sirve indirectamente también al afectar el balance de energía para disminuir la temperatura diurna y la radiación infrarroja cercana. Una adecuada elección de la estructura y de la cubierta plástica puede ayudar a controlar las temperaturas diurnas excesivas en el invernadero en zonas tropicales o desérticas, proporcionando condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos. En nuestro país se han probado este tipo de plásticos, pero no han tenido mayor difusión, ya que las zonas subtropicales y tropicales tienen inviernos en los que su uso se hace inadecuado. Para lograr este efecto únicamente en verano, se está utilizando como doble techo, plásticos que poseen un efecto de reflexión con menor paso de luz pero sobre todo por bajo ingreso de IR cercano. En este caso solamente se puede utilizar en invernaderos con ventilación cenital. La ventaja del sistema réflex usado como doble techo es que en la temporada de baja luz puede ser retirado.

**PEBD larga duración con efecto térmico y antibotrytis:** La producción de esporas, viabilidad y crecimiento están condicionados por factores como la luz, la humedad y temperatura. Si se rompe el ciclo de desarrollo se distorsiona su expansión. La radiación UV-b incide sobre la esporulación de la *Botrytis Cinerea* y otros hongos, de igual forma la luz monocromática azul inhibe este proceso.

### Manejo y mantenimiento de los plásticos

Existen diversos factores que influyen en la duración de un material de cobertura:

- *Radiaciones ultravioleta.* A mayor luz, más degradación por los rayos ultravioletas. También influye la orientación de la lámina en la exposición al sol. Si el material está tratado con productos antioxidantes e inhibidores a la acción de los ultravioletas, la duración es mayor.
- *Temperatura* a la que está sometido durante su uso.
- *Colocación de la lámina sobre la estructura.* Plásticos excesivamente tensados pueden desgarrarse por rozamiento con los bordes de los soportes. Esto implica que si esas tensiones se encuentran dentro del límite elástico no hay problema, aunque sí cuando comienza a ocurrir una deformación (fase plástica), a partir de ahí puede haber roturas por sobre estiramiento.
- *Tipo y estado de la estructura.* Las películas se degradan siempre sobre la estructura. Las reacciones químicas se aceleran a temperaturas elevadas. Debido a ello, la duración de una película sobre un soporte metálico se reduce en la práctica en un 40%. Sobre los alambres se acumula también agua de condensación que contiene residuos de pesticidas. El contacto prolongado

con estos residuos en los alambres combinados con las altas temperaturas allí existentes, provoca la rotura de la película.

- *Calidad de la lámina*, que viene definida por la calidad de la materia prima, propiedad, cantidad, calidad y dispersión de los aditivos empleados y la uniformidad en el espesor de la lámina. Además de los elementos intrínsecos mencionados, la duración es mayor cuanto mayor es el espesor que presenta el plástico.
- *Régimen de vientos*. En este punto tiene mucho que ver la correcta colocación de la lámina sobre la estructura. Plásticos poco tensados pueden ser desplazados por el viento. Un motivo frecuente de rotura es el efecto de 'batimiento' de las láminas de polietileno en regiones no suficientemente tensadas del invernadero, que por su alta frecuencia de ocurrencia ocasiona la rotura. Este problema que se acentúa si el material está en contacto con alambres o elementos con presencia de aristas agudas. Además, cuando algunas sujeteciones eventualmente se suelten del elemento de fijación utilizado pueden dar inicio a un desprendimiento e inicio de desgarro, por donde el viento interviene rompiendo el plástico a lo largo.
- *Productos fitosanitarios*. La sublimación de azufre y el uso de insecticidas azufrados o halogenados (clorados) causan daños a los laminados de polietileno, al atacar a los aditivos anti UV. Estos daños o erosión del plástico se producen al pulverizar insecticidas con un rociador, por lo que hay que tomar las precauciones necesarias y no pulverizar directamente sobre el mismo. La mayoría de los pesticidas se fabrican con compuestos fotodegradables que permiten al agricultor iniciar rápidamente la siembra. Como producto de esta degradación de los químicos utilizados, se originan cantidades altas de radicales sobre la superficie de la película, que pueden interaccionar negativamente con los aditivos que componen el plástico.

Por todo esto, a continuación se detallan una serie de recomendaciones y consejos útiles que pueden ayudar a alargar la vida útil de los plásticos, elaboradas por el Comité Argentino de Plásticos para la Producción Agropecuaria (CAPPA):

1. Durante su transporte, las bobinas no deben ser arrastradas, y deben ser apoyadas en una superficie lisa sin puntas y salientes, que puedan deteriorarlas.
2. En caso de almacenamiento prolongado, resguarde el producto de los rayos solares, en un lugar fresco y oscuro.
3. Revisar el invernadero antes de instalar el plástico, si los soportes son de madera, proteger la parte que está en contacto con el plástico, con una pintura blanca acrílica de base acuosa. Cambiar los alambres oxidados, y utilizar madera estacionada y no tratada.
4. Guarde la etiqueta que acompaña cada rollo y anote la fecha de colocación.
5. Si tiene capas diferenciadas, colocarla de acuerdo a instrucciones del fabricante.
6. No lo estire más allá de lo que la propia fuerza humana puede hacer. Es totalmente desaconsejable el uso de herramientas para lograr un sobre estiramiento.

7. Cuide rigurosamente la instalación, ni muy flojo, ni muy tensado. Evite el flameo excesivo de la película.
8. Coloque el material en horas de temperaturas medias (18°-20° C). Evite temperaturas extremas. De esta forma encontrará el producto en su punto óptimo, en su comportamiento mecánico (ni muy dilatado, ni muy contraído). Colóquese preferentemente en otoño.
9. En zonas de fuertes vientos, tome la precaución de no dejar aberturas por donde puedan ingresar las ráfagas.
10. No quemar restos vegetales, neumáticos, etc., en el interior y exterior del invernadero. Los productos de combustión dañan el plástico.
11. Revisar periódicamente la estructura y tejido de alambre, cuidando que no tenga puntos o alambres sueltos.
12. Evite la pulverización excesiva o directa sobre el film con agroquímicos, una gran variedad de ellos, puede ocasionar la degradación prematura de la película. Hacer sólo los tratamientos necesarios y ventilar el invernadero apropiadamente.

# CAPÍTULO 6

## Detalles constructivos

A continuación, se describen algunos pequeños detalles, que son importantes tener en cuenta a la hora de construir cualquier invernadero, para lograr un correcto manejo climático posterior.

### Inicio

El inicio de la construcción, sea cual fuere el tipo de invernadero o el lugar donde se realizará el trabajo, debe requerir como primera medida, que el terreno esté libre y de ser posible nivelado. Sobre el terreno se establecen los puntos cardinales y de allí se marca la orientación.

Sobre una línea base se encuadra el invernadero y mediante la utilización de hilos se procede a marcar las posiciones de los postes a plantar. Es conveniente comenzar con las filas de los extremos para luego tensar los hilos por arriba y a medida que se van incorporando postes, nivelarlos con los extremos. Para ello, colocar un poste en cada punta y nivelar con nivel de manguera (fotografías 1 y 2) ya sea que se utilicen postes de madera como de metal. Se debe tener en cuenta que si se van a construir dos o más estructuras juntas, la zona de unión llevará una canaleta de escurrimiento. Esto significa que se debe prever la creación de una pendiente cuyo



Foto 1. Nivel de manguera para nivelar los postes extremos.

valor estará de acuerdo a las intensidades de lluvias máximas probables en la zona de construcción. A los fines de lograr una mejor evacuación del agua de precipitación, es usual dividir la pendiente desde la mitad del invernadero (punto más alto) hacia los dos extremos. De este modo se distribuye el escurrimiento con un menor recorrido de agua en las canaletas.

Una vez que se colocaron los postes en los extremos, se tensa un hilo entre ellos, y se van colocando el resto de postes con plomada para que estén verticales y nivelándolos en su parte superior.



**Foto 2.** Encuadre de los postes terminales.

Se procede luego a armar el resto del invernadero, con lo cual los detalles de construcción varían según el tipo de estructura, lo cual excede lo planteado en este libro.

### Canaletas

En zonas donde las precipitaciones pluviales son abundantes, debemos prestar atención en el diseño y la inclinación de la canaleta como para que permita escurrir el agua considerando la máxima precipitación horaria de la zona. P. ej. si en la zona a construir se tienen precipitaciones máximas horarias de 60 mm, en un invernadero de 7 m de ancho por 24 m de largo, la superficie de techo es  $7 \times 24 = 168 \text{ m}^2$ , y con 60 mm de precipitación equivale a 10.080 litros de agua a escurrir en una hora, lo cual significa que debe desagotar 2.8 litros por segundo.

En las construcciones artesanales, es un punto que se subestima mucho, ocasionando serios problemas de rotura. Si tomamos el ejemplo del párrafo anterior, si llueven 60 mm en una hora, para hacer números redondos es un milímetro por segundo, lo que equivale a 7 litros de agua por metro lineal de canaleta por segundo, que si no escurre con facilidad, se acumulan, pudiendo llegar en 5 segundos a 35 litros=35 kg de agua, y así sucesivamente. Es justamente el peso del agua que tiene que soportar la canaleta (fundamentalmente las que están hechas de plástico), lo que produce las roturas.

Existen casos en que directamente no se construye canaletas y se deja que el agua de lluvia entre al conjunto de invernaderos en la zona de postes, lo que ocasiona podredumbre en los postes y un exceso de humedad que se ve reflejado en enfermedades en los cultivos, tal como se muestra en las fotografías 3 y 4.

En invernaderos de alta tecnología las canaletas se construyen con chapa galvanizada de al menos 2 mm de espesor con diferentes desarrollos y formas plegadas



Foto 3. Canaleta totalmente rota por defecto de construcción.



**Foto 4.** Ausencia de canaleta en el empalme entre invernaderos, con pérdida total de una línea de cultivo y enmalezado en la zona de caída de agua de los techos.

ya que sirven de refuerzo longitudinal entre pilares y también es el soporte para la sujeción de la cubierta, como así también permite el paso de personas para las tareas de encalado de techos o la colocación mismas del polietileno (Navarro, 1998).

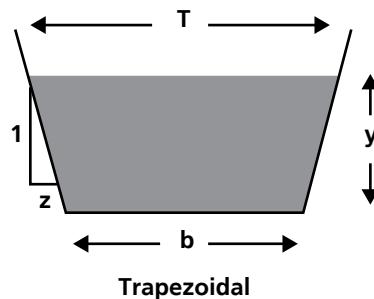
No hay mucha información sobre el diseño correcto de una canaleta para invernaderos en cuanto a longitud, ancho y profundidad. Por tanto, se harán recomendaciones en base a las normas internacionales y a trabajos experimentales para establecer algunos criterios. Una suposición subyacente que se encuentra en las directivas internacionales de diseño de canaletas para edificios, es que el aumento de la pendiente da lugar a una reducción de la profundidad de la canaleta, lo cual no siempre es válido. (Verstraten y col., 2017)

Por lo tanto, según estas normas, la pendiente mínima es del 0.5% (1 cm cada 2 metros), recomendándose esto para zonas donde las lluvias máximas horarias no superan los 30 mm/h, y en lugares donde las precipitaciones superan los 60 mm/h se aconseja una pendiente no inferior al 1%, pudiendo llegar hasta 2.5% en zonas con más de 150 mm/h. En construcciones edilicias se calcula la probabilidad de ocurrencia de lluvias máximas de 1 cada 100 años por la vida útil de las mismas. En el caso de invernaderos artesanales, donde la vida útil de los plásticos es de 3 años, se puede usar la probabilidad de ocurrencia en 1 cada 10 años, sin olvidar que hablamos de las máximas horarias y no precipitaciones medias, ya que la canaleta debe estar preparada para esos momentos, aunque sean esporádicos.

En cuanto a la longitud de la canaleta, no debe superar los 50 m, siendo conveniente menores longitudes (24 m es lo ideal), sobre todo en zonas de abundantes precipitaciones. Para lograr esto en longitudes de 50 m, es recomendable distribuir la pendiente desde el centro hacia los dos lados, repartiendo así la carga del agua caída.

Por último se debe considerar el radio hidráulico, que incluye la forma, el ancho y profundidad de la canaleta.

La forma común en canaletas de chapa, en invernaderos metálicos es la trapezoidal, como muestra la siguiente figura y fotografía:



**Figura 9.** Esquema de una canaleta metálica trapezoidal.



**Foto 5.** Perfil de una canaleta metálica trapezoidal.

El área mojada es igual a:

$$A = (b+z*y)*y$$

Siendo

b: la base de la canaleta,

y: altura del agua

$z$ : medida de inclinación del costado.

Si  $b = 17$  cm;  $y = 7$  cm y  $z = 0.43$ , nos queda

$$A = (17 \text{ cm} + 0.43 \cdot 7 \text{ cm}) \cdot 7 \text{ cm} = 140.07 \text{ cm}^2$$

Esto significa que por cada metro de canaleta puedo retener 14 litros de agua sin rebalsar. Si consideramos con una lluvia de 60 mm, tenemos 7 L por segundo, lo que significa que en 2 segundos rebalsaría a menos que tenga una pendiente correcta.

En los invernaderos artesanales, de madera, podríamos suponer una forma similar a una parábola como la siguiente:

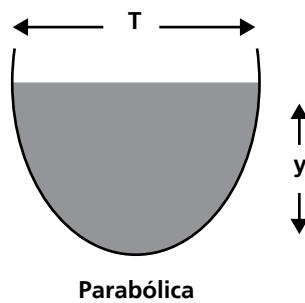


Figura 10. Esquema de una canaleta de PE con forma parabólica.



Foto 6. Perfil de una canaleta de PE con forma parabólica.

El área mojada es igual a:

$$A = 2/3 T \cdot y$$

Siendo



Foto 7. Resolución de una canaleta con una lámina de polietileno suspendida en el interior del invernadero.

T: ancho de la canaleta,

y: altura del agua

Si  $T= 30 \text{ cm}$ ;  $y=10 \text{ cm}$ , nos queda

$$A= 2/3(30 \text{ cm} * 10\text{cm}) = 200 \text{ cm}^2$$

Esto significa que por cada metro de canaleta puedo retener 20 litros de agua sin rebalsar. Si consideramos con una lluvia de 60 mm, tenemos 7 L por segundo, lo que significa que en 4 segundos rebalsaría a menos que tenga una pendiente correcta.

El problema que pueden presentar estas canaletas, es que no se respeten esos 10 cm de profundidad, o que no sea uniforme la caída y se produzcan pliegos que almacenen agua, y se agranden, con lo cual se produce la ruptura y la entrada de agua en el invernadero. Para que esto no suceda, se debe colocar una tabla de madera sobre la que se asienta el polietileno sin tocar, para que con el peso del agua se apoye y fluya el agua correctamente. También es importante que no se produzcan pliegos al clavar el plástico de la canaleta. Otro detalle es que primero se debe colocar la canaleta y luego los plásticos de los techos, para que las clavaderas de la canaleta queden debajo del plástico del techo, evitando que el agua penetre en el invernadero. En las figuras 11 y 12 se muestra una propuesta de construcción de canaletas realizada en el curso a distancia por Internet sobre Manejo de Invernaderos. (INTA 2005).



Foto 8. Canaleta construida en el interior del invernadero unida a dos alambres longitudinales y soportada en la base mediante parantes verticales y longitudinales de madera.

Desde el punto de vista del efecto de las canaletas sobre el régimen lumínico interno del invernadero, debe destacarse que dependiendo de su resolución constructiva, constituyen elementos opacos a la radiación solar, habiéndose medido disminuciones superiores al 50 % en su intensidad para los cultivos que se encuentran dentro de su área de proyección de sombra (Teitel y col., 2012). La orientación (este-oeste o norte-sur) de estos elementos estructurales, induce que sus sombras se proyecten sobre una zona más o menos amplia en los invernaderos orientados en sentido este-oeste, o bien que las sombras se distribuyan uniformemente por todo

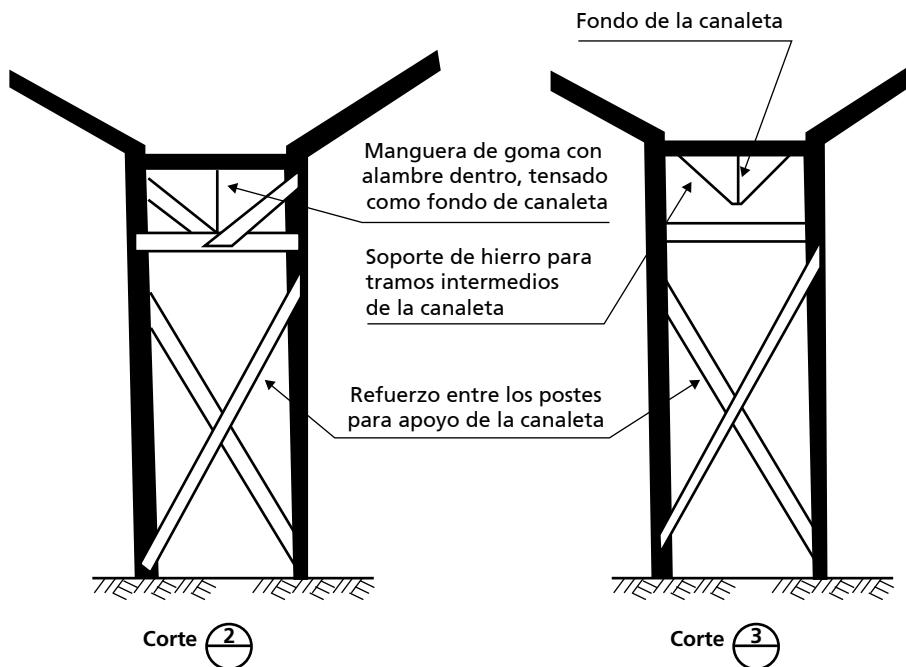


Figura 11. Esquema de una canaleta para un invernadero de tipo artesanal en madera.

el invernadero al irse desplazando durante el día siguiente el movimiento del sol en los elementos que están orientados en sentido norte-sur. Estos análisis deben ser tenidos en cuenta cuanto mayor es la latitud a la que trabajamos, habida cuenta que el hecho de tener zonas más sombreadas en el invernadero que el resto, implica una menor productividad derivada de la menor radiación (Hernández y col., 2001).

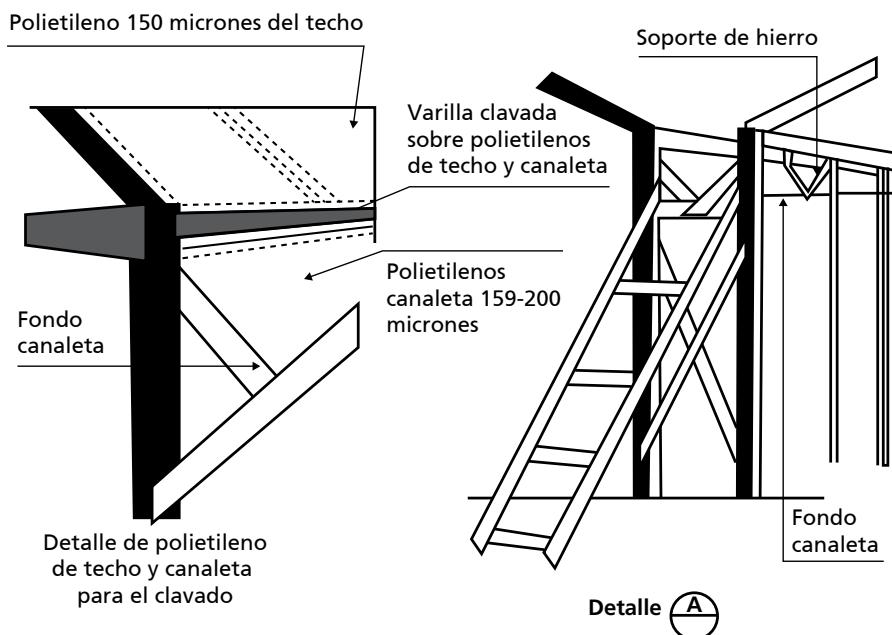
Otra cuestión importante para destacar son los recaudos que deban hacerse en los lugares de caída del agua de los techos, debido a la fuerza erosiva del agua. La excepción es cuando el agua se conduce mediante tuberías para su reutilización en el riego. Si no se toman algunos recaudos para disminuir o evitar los problemas occasionados por la descarga del agua de las canaletas en los extremos de los invernaderos, pueden generarse situaciones de erosión e ingreso del agua por debajo de la pared de los invernaderos. Además, el efecto erosivo desestabiliza los parantes de los invernaderos. Debe tenerse en cuenta que el agua descarga a modo de cascada, por lo que en función de su velocidad y altura tiene una energía potencial gravitatoria ( $E_{(g)}$ ) que se expresa por el producto de la masa (M), la aceleración de la gravedad (g) y la altura misma (h) según la siguiente expresión:

$$E_{(g)} = M * g * h.$$

Durante la descarga, la masa de agua pierde altura y consiguientemente adquiere energía cinética ( $E_{(c)}$ ) en función de su velocidad final (v) e inicial ( $v_0$ ), dada por la siguiente ecuación:

$$E_{(c)} = \frac{1}{2} M (v^2 - v_0^2)$$

Para que se comprenda la importancia de la energía cinética en el efecto erosivo, puede trazarse un paralelo manifestando que es precisamente esta energía la que puede generar electricidad en una central eléctrica mediante la rotación de una turbina. En la figura 12 se puede observar una propuesta constructiva para el desagüe de canaletas.



**Figura 12.** Esquema de una canaleta para un invernadero de tipo artesanal en madera y estructura de desagüe.

En las siguientes fotografías se muestran distintas alternativas para subsanar este inconveniente: A) Descarga del agua de las canaletas mediante conducción con una lámina de polietileno sobre una superficie de suelo también cubierto con polietileno para disminuir el riesgo de erosión e ingreso de agua al interior de los invernaderos. B) Construcción de canal de desagüe con mampostería para la conducción del agua de desagüe evitando la erosión del suelo. C) Proyección de la canaleta sobre el extremo frontal de los invernaderos para despejar la caída del agua de la pared. D) Cobertura del suelo en las zanjas de desagüe de las descargas laterales de los módulos de invernaderos situados en los extremos para evitar la erosión hídrica

### Zócalo

Salvo algunas zonas libres de heladas en la República Argentina, en el resto del país debemos colocar una protección importante para prevenir que una helada



A



B



C



D

Foto 9 A, B, C, D. Protecciones laterales de descarga de canaletas.

nos perjudique el cultivo. En algunos casos recibe el nombre de pollerita o más comúnmente zócalo. Éste impide que el aire frío que se concentra a ras de suelo durante las noches de heladas, pueda penetrar al invernadero. Para esto es necesaria la completa estanqueidad del mismo, lo que significa una correcta colocación y sujetación del zócalo para evitar filtraciones. Lo recomendable es sujetar el polietileno en forma de doblez con alambre galvanizado colocadas a unos 80 cm de suelo y en el suelo hacer una pequeña zanja donde se entierra el mismo.

En la Figura 13, se muestra en distintos cortes, cómo debería ser una correcta colocación del zócalo, teniendo en cuenta que lo podemos realizar con el polietileno simple (una sola lámina) o doble (haciendo descender el polietileno hasta enterrar). En este segundo caso, se engrampa solamente por debajo. (INTA, 2005)

#### Colocación de la cubierta

La cubierta debe impedir la mayor pérdida de calor que sea posible, es importante colocar el techo a lo largo de la cumbre cerrando bien los empalmes laterales.

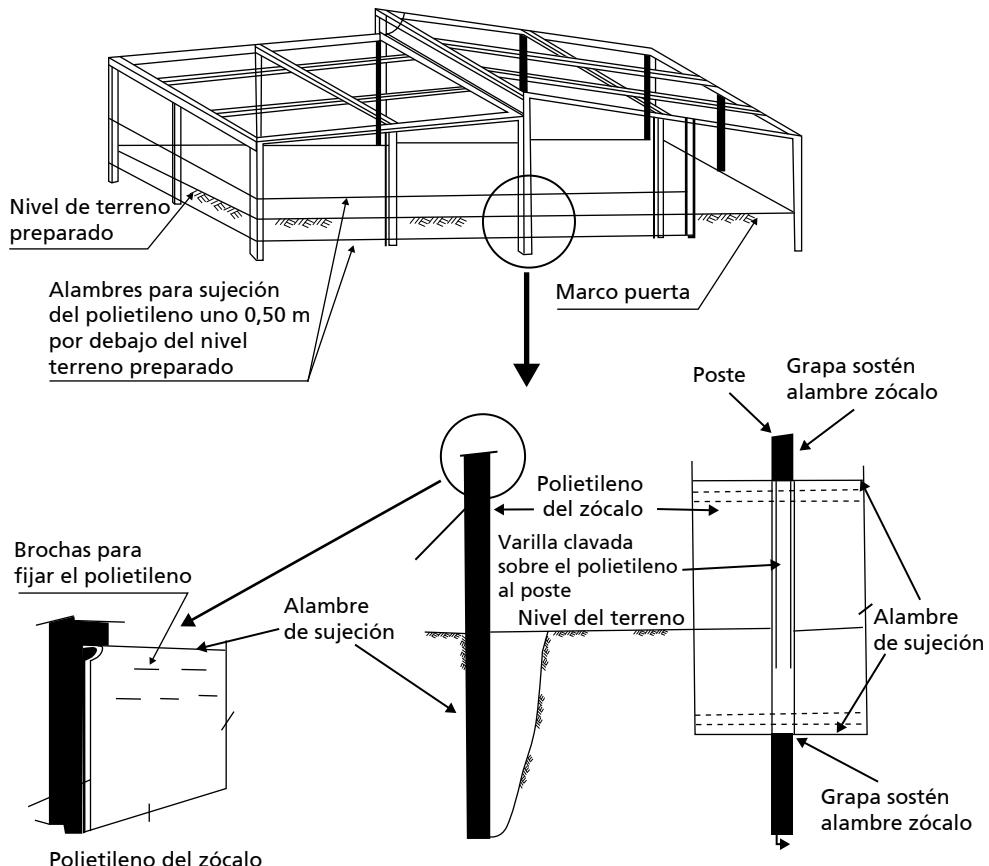


Figura 13. Colocación del zócalo.



Foto 10. Zócalo con soporte de alambre colocado.



**Foto 11.** Zócalo con perfil diseñado al efecto.



**Foto 12.** Empalme de la cubierta del techo y laterales con serios problemas de pérdida de calor.

En la fotografía 12 se observa un invernadero de madera con serios problemas de pérdida de aire y consecuentemente pérdidas de calor debido al ineficiente aislamiento térmico en la unión de las paredes y el techo.

Estas estructuras, se han extendido por diversas zonas del país adaptadas para las condiciones de luz y de temperatura de esas regiones, pero no son aconsejables en la parte sur de nuestro país, porque no permiten un uso eficiente de la luz ni temperaturas óptimas para los cultivos de fruto (tomate y pimiento). La falta de estanqueidad provoca un ineficiente manejo de la temperatura y la escasa inclinación no permite una buena captación de la luz, lo cual repercute directamente en bajos rendimientos de cultivos.

Para una correcta colocación de la cubierta, es importante revisar el invernadero antes de instalar el plástico. En el caso de soportes de madera, tratar de proteger la parte que está en contacto con el plástico, con una pintura blanca acrílica de base acuosa, o preferentemente con algún material que cubra las imperfecciones. Cambiar los alambres oxidados, y utilizar madera estacionada y no tratada. En caso de estructuras metálicas con varios años de uso, revisar si existen partes oxidadas para pintarlas con pintura epoxi para evitar que se siga deteriorando el material y consecuentemente el plástico.

En caso de poseer capas diferenciadas (ej, antipolvo o antigoteo), colocarla de acuerdo a instrucciones del fabricante, cuidando el lado correspondiente.

Se debe colocar el material en horas de temperaturas medias (18°-20° C), evitando temperaturas extremas. De esta forma el plástico encontrará su punto óptimo, en su comportamiento mecánico (ni muy dilatado, ni muy contraído). Dependiendo del lugar se deberá buscar este óptimo según la estación (preferentemente en otoño o primavera) o elegir el día apropiado en cualquier momento del año, según el calendario del productor.

No se debe estirar más allá de lo que la propia fuerza humana puede hacer. Es totalmente desaconsejable el uso de herramientas para lograr un sobre estiramiento. Esto implica cuidar rigurosamente la instalación, ni muy flojo, ni muy tensado. Se debe evitar el flameo excesivo de la película. Una recomendación importante es que el trabajo debe realizarse en jornadas con escaso viento dada la dificultad que significa la extensión de una lámina de gran superficie bajo condiciones ventosas. Por otra parte, es deseable hacer la colocación en horas de mayor temperatura, para aprovechar la dilatación del material con lo que se asegura una adecuada tensión. En caso de hacerlo en días muy fríos, aunque se realice un correcto tensado, posteriormente y una vez colocado, cuando los días sean muy cálidos se dilatará la cubierta comenzando un leve e indeseable flameo.

En las fotografías 13 A, B y C se muestra la colocación de la cubierta plástica en un invernadero de techo curvo y en un invernadero de techo a dos aguas. La fotografía A muestra el proceso de desplegado del plástico; en B se observa el estiramiento en el sector lateral y en C, en la parte frontal. El plástico tiene que quedar perfectamente tensando y una vez colocado el techo se procede a colocar los laterales (fotografías 14 A y B).



Fotos 13 A, B, C. Colocación del plástico en diferentes estructuras y posiciones.



Fotos 14 A, B. Colocación del plástico en los laterales.

### Ventilaciones

Tradicionalmente la ventilación lateral se realizó sujetando el plástico de la cumbrera lateral dejando caer el mismo por debajo de la línea del zócalo (tal como muestran las fotografías 14 A y B, y subiendo manualmente el mismo cuando se debía ventilar el invernadero. Este sistema, de muy bajo costo para su montaje, requiere de mucho tiempo de operación diaria para la apertura y cierre.

La manera más fácil de abrir las ventanas, ya sea manual o automáticamente es la de desenrollar la película hacia arriba en un tubo. Se han desarrollado una serie de mecanismos automáticos que están disponibles en el mercado para su uso.



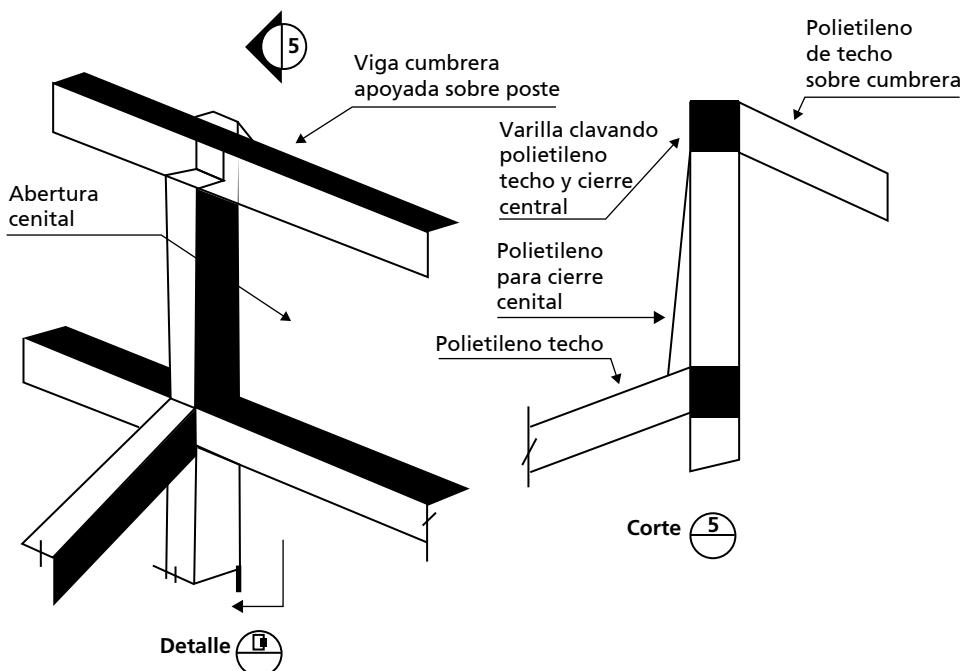
Foto 15 A, B y C. Manivelas de enrollado lateral (A) y frontal de las cubiertas (B). Detalle del trabajo de enrollado con caja conversora (C).

Lo más aconsejable es montar cortinas enrollables. Una simple manivela permite levantar fácilmente los laterales enganchándolas en los extremos. En la foto 15 se observan dos tipos de ventilación lateral con manivela, una solamente en los laterales (15A) y otra que permite ventilar todas las caras del invernadero (15 B). En la foto C, se observa el procedimiento, pero en este caso con una caja conversora y reductora para lograr menor esfuerzo. El detalle de la caja se observa en la foto 18 B

Con frecuencia las ventanas de los laterales no son perfectamente estancas en los bordes y por tanto se mueven cuando sopla el viento independientemente de que estén abiertas o cerradas. Una solución parcial a este problema, se logra dejando un trozo fijo de un par de metros en cada extremo del invernadero, de manera que el plástico de la ventana enrollable, se superponga a la parte fija.

En cuanto a las ventilaciones cenitales, éstas pueden presentar distintas formas. Por un lado están aquellas que son fijas, como por ejemplo los que se utilizan en zonas subtropicales y templados, en invernaderos artesanales tipo capilla. Este tipo de abertura se realiza simplemente desencontrando los techos en su parte superior, y no deben exceder los 25 cm. Se pueden cerrar durante el invierno y trabajar solamente con la ventilación lateral, cuando desaparece el peligro de heladas, se deja abierto constantemente. (Figura 14 y foto 16).

Existen otros tipos de aperturas cenitales, en invernaderos mecanizados, donde todo el sistema es operado con motores desde un panel de control general del clima. (Foto 17).



**Figura 14.** Detalles gráficos de la apertura cenital fija (INTA 2005)



Foto 16. Apertura cenital fija.



Foto 17. Apertura cenital mecanizada.

En invernaderos metálicos de techos curvos, se suele utilizar el sistema de enrollado similar al de las ventanas laterales, con una manivela accionada desde abajo con una unión cardánica o reductora que permite operarlo sin dificultad. (Fotos 18 A y B).

En los casos en que no se disponga de ventilación cenital, y ésta sea importante, se suele recurrir a la apertura superior de los frentes. En estos casos, para ser más eficiente, es conveniente que la misma se realice desde la parte superior hacia abajo



Fotos 18 A y B. Apertura cenital enrollable a manivela (A). Detalle de la caja reductora (B).



Fotos 19 A, B y C. Apertura frontal cenital en techos rectos (A), Apertura frontal cenital en techos curvos (B). Modo menos eficiente de la apertura frontal. (C)

en forma horizontal (Foto 19 A y B) y no vertical (Foto 19 C), para tener un mejor efecto chimenea, y eliminar así los excesos de calor.

#### Colocación de mallas

En los casos en que se necesite colocar malla antigranizo por sobre el invernadero, es conveniente realizar una sobre-estructura para que las piedras impacten solamente la malla, y cumpla así su objetivo, tal como se muestra en la foto 20 A y B.

En el caso A, la malla está colocada sobre una estructura portante sobre el invernadero. En el caso B, está flotando sobre sobre la cubierta plástica del invernadero, sujetada solamente en las cumbreñas centrales.



Foto 20 A, B. Formas de sujeción de malla antigranizo



Foto 21. Malla de media sombra colocada sobre la estructura.

Para el caso de media sombra, según los estudios de Francescangeli y col, 1994a, no es necesario una separación del invernadero, pudiendo colocarse directamente sobre el mismo.

En algunos casos se utiliza malla media sombra de bajo porcentaje (aproximadamente 25%), en los laterales como barrera para impedir la entrada de pájaros al invernadero, y también para evitar el ingreso masivo de algunos insectos como es el caso de varias especies de *Spodoptera*, y algunas chinches. Para la colocación de esta protección, se realiza por debajo de la cortina lateral, y en forma simultánea, sin estar sujetada por debajo, con lo cual se la puede alzar de ser necesario.



Foto 22. Malla de media sombra colocada al costado de la estructura



**Foto 23.** A) Malla antiáfidos al costado de la estructura; B) Puerta doble; C) Ventilación cenital con malla colocada.

Por último, existen casos especiales, en que es necesario una protección contra insectos más rigurosa, como es el caso de los viveros cítricos bajo cobertura, en que se debe colocar malla antitrips. Para esto, las construcciones deben ser bien estancas, de ser posible metálicas para fijar las mallas con sistemas que no permitan orificios de ningún tipo, ya que cualquier abertura, por más pequeña que sea facilitaría el ingreso de los vectores de virus.

Se debe considerar en cada caso cuál es el insecto del cual debemos proteger el cultivo para saber que malla elegir.

En la tabla 12 se dan algunas medidas de insectos plaga presentes en nuestro país, como para definir que malla usar (Adapatado de Bailey, 2003: Sara Cáceres, comunicación personal).

**Tabla 12.** Dimensión máxima de apertura de orificios para excluir insectos.

Insecto	Nombre científico	Tamaño	Mesh
Minador de la hoja	<i>Liriomyza trifolii</i>	0.61	34
Mosca blanca de la batata	<i>Bemisia tabaci</i>	0.46	42
Pulgón del algodón	<i>Aphis gossypii</i>	0.34	52
Mosca blanca del invernadero	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	0.29	58
Trips californiano de las flores	<i>Frankliniella occidentalis</i>	0.19	76

En estos casos se debe conocer el manejo de los factores ambientales, ya que este tipo de malla también impide la correcta circulación del aire, con lo cual tenemos mayores temperaturas y mayor humedad relativa (Francescangeli. 1999; Lenscak y col. 2004). La mayor temperatura en época invernal puede resultar beneficioso, no así la mayor humedad, con lo cual se deberá tener en cuenta la mayor superficie de ventilación (preferentemente con ventilación cenital), donde tendrá que poseer también la malla correspondiente. El tema de la ventilación y las mallas antiáfidos se verá más adelante en el manejo del clima.

Otro tema en estos casos, es que la entrada a estos invernaderos debe ser por un solo lugar, y con puertas dobles, tomando todos los recaudos posibles para impedir el ingreso de plagas y enfermedades.

## Tecnología para la climatización de los invernaderos

El invernadero es, por definición una protección para el invierno, pero puede cumplir otros objetivos y llegar a ser, como se lo denomina en zonas tropicales, una "casa de cultivo", tal como es su palabra en inglés "Green house" o casa verde, protegiendo de varios factores adversos del clima, como por ejemplo elevadas precipitaciones o altas temperaturas.

Por lo tanto, nuestro objetivo es darle a las plantas el ambiente óptimo para su crecimiento, creando un microclima que permita expresar el mayor rendimiento de nuestro cultivo. Esto significa conocer los factores ambientales y las herramientas que tenemos a disposición para manejarlo dentro de ciertos límites.

### Climatización en períodos fríos

Antes de plantearnos el sistema de manejo del clima a elegir, debemos considerar la zona, la infraestructura, el valor del producto a obtener ya que del mismo dependerá la inversión y el gasto a realizar, el clima externo, y entonces establecer los niveles de temperatura a la que queremos llegar, si es para salvar una noche de helada para mantener el cultivo en rangos mínimos o si deseamos mantener en condiciones óptimas de crecimiento el mismo. Esto último significa un incremento substancial en los costos de calefacción, con lo cual, el producto final debe reintegrarnos esos costos. Comenzaremos entonces con sistemas pasivos (más económicos) siguiendo con los sistemas activos (más costosos y más eficientes)

### Sistemas pasivos

Son técnicas simples, más o menos costosas según los materiales que se utilicen, que hacen intervenir muy poca cantidad de energía, tanto para su instalación como para su funcionamiento.

*Doble techo y/o paredes:* consiste en colocar una doble cobertura en techo y/o paredes, siendo la capa interior de un polietileno de muy poco espesor, a muy corta distancia entre ambas. El aire encerrado entre las capas actúa como barrera aislante, evitando el escape de calor desde el interior. Aumenta la eficiencia del sistema el insuflado de aire entre las capas, lo que sólo es posible en estructuras estancas.

- *Pantalla térmica:* es una cobertura de polietileno o de materiales aluminizados que tiene por objeto impedir el escape de la radiación infrarroja larga emitida durante las noches por el suelo y las plantas, al mismo tiempo que reduce el volumen de aire en el interior del invernadero. Estas pantallas deben estar provistas de algún sistema de montaje que permita su corrimiento durante el día, a fin de no restar luminosidad a los cultivos.



**Foto 24.** Doble techo en invernadero artesanal.

---



**Foto 25.** Pantalla aluminizada.

---

- *Uso de la energía solar o geotérmica:* son equipos de instalación costosa pero de funcionamiento económico. Su uso está limitado a regiones donde el recurso solar o geotérmico esté disponible en abundancia. En el caso de los paneles solares, su uso no se ha generalizado pues, muchas veces las dimensiones necesarias de éstos para captar la energía suficiente para calefaccionar, excede las del propio invernadero.
- *Aspersión de agua sobre la cubierta:* técnica simple, utilizada en el Sur de Italia, consiste en asperjar agua sobre la cubierta del invernadero durante las horas en que se producen las heladas. Se forma la capa de hielo de un par de centímetros de espesor que actúa como aislante al escape de calor del interior. Aunque muy económico y sobre todo muy efectivo, tiene el inconveniente de utilizar un gran volumen de agua por la noche, que debe ser canalizada o reciclada para evitar encarcamientos en los alrededores de las estructuras, y además, es importante utilizar agua con bajo contenido en sales, para evitar depósitos sobre la cubierta. Este método se ha probado en la provincia de Buenos Aires, con muy buenos resultados (Francescangeli y col.1994 b).

### **Sistemas activos**

Son los que hacen intervenir importantes cantidades de energía tanto para su instalación como para su funcionamiento.

Los requerimientos generales para un buen sistema de calefacción son:

- Deben brindar una potencia térmica suficiente para asegurar los saltos térmicos calculados.
- Deben lograr una buena distribución de la temperatura, tanto horizontal como verticalmente.
- Las pérdidas de luz debidas a las instalaciones deben ser mínimas.
- Deben adecuarse al modelo, dimensiones y características de la estructura.
- Deben poseer buena regulación y seguridad de funcionamiento cuando su uso sea necesario.

Tienen que estar diseñados en base a estructuras simples, económicas y en función de la energía a utilizar, pero respetando un criterio agronómico.

Los sistemas de calefacción activos pueden clasificarse en 2 grupos: a) por agua caliente y b) por aire caliente.

### **Sistemas por agua caliente**

- *Calefacción aérea:* Son tuberías de hierro distribuidas a lo largo de las paredes laterales del invernadero, en la parte aérea y a nivel de la cubierta vegetal. El agua caliente que circula por las tuberías proviene de una caldera y quemador y los combustibles más usados son: fuel oil, gasoil y gas natural. La temperatura del agua alcanza los 60 °C a lo largo de las tuberías. Es un sistema bastante costoso, que se limita a producciones muy rentables.

- *Calefacción de suelo:* Son tuberías radiantes enterradas o sobre el suelo por las que circula agua caliente. Si bien está más difundido en Europa que la calefacción de aire, debe manejarse con precaución pues el calor puede modificar las propiedades físico-químicas del suelo. Se prefiere la tubería no enterrada para aprovechar mejor la emisión del calor hacia el ambiente. El material más corriente es el plástico, tanto en tubos lisos como corrugados o anillados (mayor superficie de emisión)
- *Acolchado radiante:* Son mangas de plástico flexibles dispuestas entre las líneas de cultivo por cuyo interior se hace circular agua de origen variable (solar, geotérmica, centrales térmicas, etc.) entre 20 y 40 °C. En estas mangas se hacen soldaduras circulares dispuestas a determinadas distancias por las que pasan las plantas. Este es un sistema utilizado en Francia.

#### *Sistemas por aire caliente*

Las partes fundamentales de estos equipos son:

- Un ventilador: que hace circular el aire extrayéndolo del exterior o del interior del invernadero.
- Un quemador: preparado para quemar combustible.
- Un intercambiador de calor: tiene una serie de aletas que se calientan por la combustión y entre las que circula el aire.

La salida de aire se realiza a través de deflectores direccionales o bien mangas de polietileno, provistos de una serie de orificios.

La calefacción por aire caliente resulta menos costosa que por agua caliente, elimina las condensaciones de la cara interior de la cobertura y el ventilador puede usarse en verano para bajar las temperaturas excesivas.

Como inconvenientes, además de la menos eficiente distribución de temperatura, por tener poca inercia térmica en caso de avería se produce un enfriamiento rápido del invernadero.

La penetración del chorro de aire depende entre otras cosas de la distancia entre el ventilador y todos los objetos del invernadero. Un desarrollo matemático demuestra que superada cierta distancia (variable para cada potencia de ventilador, pero fácilmente superada por cualquier invernadero convencional) el flujo de aire toma una dirección ascendente y el aumento de temperatura en las capas de aire cercanas al techo es mayor que en las inferiores.

En general se recomienda que un volumen injectado de 1000 m<sup>3</sup> de aire caliente no transporte más de 10000 Kcal.

#### *Cálculo de las demandas térmicas de un invernadero*

Para producir en períodos en los cuales la temperatura no alcanza los niveles óptimos que requieren las especies que se pretenden cultivar, es necesario el aporte

de calor suplementario a través de algún sistema de calefacción. El cálculo de las necesidades calóricas se realiza en función de las temperaturas óptimas para cada cultivo (generalmente entre 10-14°C nocturna y 18-25°C diurna), las dimensiones del invernadero y la temperatura externa. En la tabla 1 se presentaron los distintos rangos de temperaturas óptimas para diferentes cultivos.

Si bien existen diferentes fórmulas para calcular las diversas pérdidas de calor por conducción, radiación y convección por parte de las paredes y techos del invernadero (Matallana y Montero, 1995; López Hernández J. C. 2014), las mismas dan la base para realizar el cálculo de necesidades de calefacción en forma muy sencilla. Para cada metro cuadrado de suelo cubierto por el invernadero se tiene que:

$$Q = \mu * \left( \frac{SupCubierta}{SupSuelo} \right) * \Delta T \quad (\text{Watt/m}^2)$$

Donde:

$Q$ : requerimiento de calor/ m<sup>2</sup> de invernadero (Watt/m<sup>2</sup>)

$\mu$ : es un coeficiente que depende de las pérdidas de calor a través de la cubierta por convección, conducción y radiación. Tabla 13.

*Sup. Cubierta* es toda la superficie, en metros cuadrados, del polietileno de la cubierta.

*Sup. Suelo* es la superficie, en metros cuadrados, del suelo cubierto por el invernadero.

$\Delta T$ : es la diferencia de temperatura a cubrir, entre las necesidades del cultivo y la mínima estimada en el exterior.

Como la potencia de los calefactores suele venir expresada en Kilocalorías/hora, al resultado obtenido luego de la aplicación de la fórmula, debe dividírselo por 1,163.

(1 Kcal/h: 1,163 watt)

Ejemplo:

$\mu$  adquiere un valor aproximado a 6.2 w/m<sup>2</sup> °K para una pared simple y una velocidad de viento de 4m(seg.

Si nuestro invernadero tiene una superficie de 1000 m<sup>2</sup> y la superficie del plástico es de 1345 m<sup>2</sup>, y queremos un salto térmico de 10 grados, la ecuación se transforma en:

$$Q = \frac{1345 \text{ m}^2 * 6.2 \text{ w} * 10 \text{ } ^\circ\text{C}}{1000 \text{ m}^2 \text{ m}^2\text{C}} = 83.4 \text{ w/m}^2$$

Para 1000 metros cuadrados hace un total de 83400 Watts, lo que equivale a 71711 Kcal por hora.

Analizando la ecuación, vemos que las pérdidas de calor de un invernadero son directamente proporcionales a su superficie total expuesta, esto es la superficie de la cobertura (no superficie de suelo cubierto)

**Tabla 13.** Coeficiente global de pérdidas de calor a través de la cubierta (López Hernández 2014).

Material de cobertura	$\mu$ (W/(m <sup>2</sup> °C))
Vidrio Sencillo	6.2
Vidrio doble	3.7
PEBD Térmico	6.2
PEBD doble	4
Vidrio + pantalla térmica	4
PEBD doble + pantalla térmica	2.5

Así como el área expuesta varía con las diferentes relaciones largo/ancho, para una misma superficie cubierta, las pérdidas de energía variarán de la misma manera. Pero además, el área total depende también de la altura y de la pendiente del techo.

Las pérdidas de calor por m<sup>2</sup> de pared se consideran 1.4 X las pérdidas por m<sup>2</sup> de techo. Esto se debe sobre todo a las diferentes influencias del viento y en los casos de invernaderos calefaccionados, a la cercanía a las paredes de las tuberías de agua caliente.

La influencia de la pendiente del techo en la relación Área cobertura/Área de suelo es similar para todos los invernaderos: crece con la pendiente. Dado que la transmisión de luz y por lo tanto el aprovechamiento de energía aumenta con la pendiente, la óptima para un invernadero simple es 25° de inclinación. Esto se contrapone a lo visto con respecto a la transmitancia de la radiación, pero son factores que debemos considerar en cada caso.

La relación Área cobertura/ Área suelo disminuye poco con el aumento de altura, y su influencia en los requerimientos de energía son despreciables, sobre todo en invernaderos multi-capillas. Por lo tanto la elección de invernaderos más altos no aumenta demasiado la superficie expuesta y tiene un efecto positivo en el control del clima.

Siguiendo con el análisis de la ecuación, el coeficiente  $\mu$ , depende del material de cobertura. Una forma de disminuir pérdidas de calor es el empleo de una doble capa de techo, utilizando polietileno cristal de 50 micrones para el techo interno. La misma no debe superar los 10 cm. de separación del techo exterior. Se ha evaluado el empleo de un doble techo plástico con una capa inferior de polietileno cristal de 50 $\mu$  y los resultados demostraron una disminución de la transmitancia de la radiación solar del orden del 8-9% pero permite reducir las pérdidas de calor entre el 7 y 11% lo cual no solo beneficia el clima durante las noches más frías sino que posibilita un importante ahorro de combustible para calefacción.

### Climatización en períodos cálidos

Los efectos perjudiciales de las temperaturas extremas sobre las plantas varían con las especies, variedades, estados de desarrollo, condiciones climáticas, estado fitosanitario, etc. Pudiendo sobrevivir a temperaturas muy bajas durante la fase de inactividad.

Son temperaturas letales aquellas que si se sobrepasan, (menores a una mínima o mayores a una máxima) las plantas no la pueden soportar y mueren. Hay plantas que pueden sobrevivir a temperaturas extremadamente altas y otras a temperaturas extremadamente bajas.

Las temperaturas umbrales son aquellas que por encima o por debajo de las cuales el desarrollo de la planta resulta afectado, o dicho de otra manera, es el rango de temperaturas entre las cuales las plantas se puede desarrollar sin inconvenientes. El umbral inferior, denominado cero vegetativo, varía con las especies y variedades de plantas. Las hortalizas con exigencia bioclimática elevada necesitan una temperatura mínima variable entre 13° C para berenjena y sandía, y de 16 a 18° C para pimiento y melón.

No es fácil definir la temperatura óptima para la respuesta de la planta. No puede determinarse tan exactamente como la letal y umbral, si bien es posible fijar un intervalo óptimo para una localidad y cultivo específico. En el caso de rendimientos, no hay estándar absoluto fijado para el óptimo y tampoco puede servir el promedio de altos rendimientos de todas las regiones geográficas, ni el de los cultivos de invernaderos. Prácticas culturales diferentes proporcionarán distintos contenidos de agua y oxígeno en el suelo, que afectarán la temperatura.

En la estación cálida de las regiones subtropicales y en las regiones tropicales, la temperatura interior diurna de un invernadero es muy elevada, llegando a superar los 37° C. En estas regiones la ventilación es uno de los medios potenciales para controlar las altas temperaturas que pueden sobrepasar el umbral de tolerancia de las plantas. Esta ventilación puede realizarse naturalmente mediante aberturas, o ventilación pasiva, y artificialmente utilizando ventilación forzada con la ayuda de extractores eléctricos.

### ***Sistemas pasivos***

#### ***Ventilación natural***

Según lo indicado por la FAO (2002), los intercambios de aire entre el interior de un invernadero y el exterior, constituyen un proceso que afecta considerablemente el clima del invernadero. La renovación de aire tiene un impacto, no solamente sobre la temperatura del aire, sino también sobre el vapor de agua y el CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, la ventilación de invernaderos interviene en tres aspectos:

- *La temperatura interna:* los invernaderos necesitan evacuar el exceso de calor por lo que debe generarse un buen movimiento del aire interior.
- *La composición del aire interior:* la escasa ventilación produce déficits de CO<sub>2</sub>. La entrada de aire externo es la principal fuente de CO<sub>2</sub> si no se cuenta con enriquecimiento carbónico.
- *La humedad relativa del aire interior:* la falta de ventilación en situación de bajas temperaturas produce excesos de humedad. Se observa entonces el fenómeno de condensación en la cubierta y el goteo de agua sobre el culti-

vo: Esta situación provoca disminución en la transmisión de radiación solar, desarrollo de enfermedades y deficiencias minerales como consecuencia de restricciones en la transpiración.

La ventilación renueva el aire sustituyendo el aire caliente del interior por aire más fresco del exterior. Cuanto más intensa sea la renovación del aire y mayor la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del invernadero, mayor es la eficiencia de la ventilación en la disminución de la temperatura.

La ventilación de un invernadero se caracteriza por la tasa de renovación horaria: número de veces en que el volumen de aire de un invernadero se renueva en 1 hora. Esta tasa de renovación es función de varios parámetros:

- La radiación solar exterior.
- La diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior.
- La velocidad del viento.
- La amplitud de las aberturas.
- La posición y forma de las aberturas (cenital y lateral).
- El contenido hídrico (raramente estudiado en su efecto).

Existe una amplia gama de definiciones de abertura o de tasa de abertura de un invernadero, definiendo la abertura como la relación entre la superficie abierta y la superficie total de ventanas, o considerando la razón entre la superficie realmente abierta y la superficie de suelo del invernadero. Esta última sería la más adecuada (Valera Martinez y col, 1999)

**Aberturas de ventilación:** Las aberturas deben estar uniformemente distribuidas tanto sobre el techo como sobre las paredes del invernadero. Estas deben disponerse de modo que se evite que el flujo del aire entrante caiga directamente sobre los cultivos. Se debe asegurar que la entrada del aire esté a una altura del suelo no menor de 70 cm.

**Medida del área de apertura de ventilación:** El área, expresada en m<sup>2</sup>, de la abertura de ventilación del techo o la pared está dada por el producto del largo y el ancho de la misma. En símbolos:

$$A = L * H$$

Donde

A= área

L=largo

H= altura

**Porcentaje de ventilación:** Es la suma de las áreas de aberturas de ventilación colocadas sobre el techo y las paredes, calculadas según las indicaciones del apartado anterior, dividido por la superficie cubierta del invernadero Sc y multiplicada por cien:

$$\frac{(A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) * 100}{Sc}$$

Los intercambios de aire del invernadero se relacionan con su volumen y con la superficie de suelo cubierta. Ésta relación se conoce como Índice de intercambio de aire.

$$Z = V/V_g (s^{-1})$$

donde

V: flujo volumétrico por unidad de tiempo ( $m^3 * seg^{-1}$ )

$V_g$ : Volumen del invernadero ( $m^3$ )

Este índice no sirve para realizar comparaciones entre distintos invernaderos.

A su vez, el intercambio de aire con relación al suelo del invernadero se conoce como Tasa de ventilación

$$V_A = V/Ag$$

donde

V: flujo volumétrico por unidad de tiempo ( $m^3 * seg^{-1}$ )

Ag: Superficie de suelo cubierta por el invernadero ( $m^2$ )

Si se conoce la altura media del invernadero (H), se pueden relacionar estos dos índices:

$$V_A = H * Z$$

O

$$Z = V_A / H$$

Es necesario distinguir entre:

- Ventilación natural, libre o estática.
- Ventilación forzada o mecánica.

*Ventilación natural:* las diferencias de presión que causan de la ventilación natural se deben a:

a) *Fuerzas térmicas.* Originadas por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero.

b) *Fuerzas del viento.* Originadas por la velocidad del viento exterior.

El efecto térmico depende de:

- La diferencia de temperatura interior-exterior
- La ubicación, superficie y forma de las ventanas
- El efecto eólico depende de:
  - La velocidad del viento
  - La ubicación, superficie y forma de las ventanas
  - La forma y pendiente del techo del invernadero

La influencia del efecto térmico es despreciable en comparación con el efecto eólico. Para los invernaderos industriales se señala el valor de velocidad de viento de  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  como límite a partir del cual el efecto térmico prácticamente no tiene ninguna influencia.

En los invernaderos mal ventilados, el efecto térmico puede tener más protagonismo.

En un día soleado de verano, especialmente en latitudes medias, la radiación solar dentro del invernadero puede ser cercana a  $700 \text{ W m}^{-2}$ .

Si el cultivo está bien desarrollado, gran parte de esta radiación (hasta un 70 %) es usada por las plantas para evaporar agua. En este caso el calor neto recibido por el aire del invernadero sería de  $210 \text{ W m}^{-2}$  aproximadamente.

Si el invernadero tiene el cultivo recién transplantado la cantidad de calor cedida al aire del invernadero se aproximaría a los  $700 \text{ W m}^{-2}$ .

La figura 15 muestra la relación entre salto térmico (o diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior) y la tasa de ventilación de un invernadero con cubierta simple y una radiación solar global de  $700 \text{ W/m}^2$ .

Las curvas incluidas en la figura son las siguientes:

- a) Transpiración media.
- b) Sin transpiración.
- c) Transpiración alta.

Sería necesario asegurar una tasa de ventilación de  $170 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , para mantener un salto térmico de  $4^\circ \text{ C}$  en situación de transpiración media del cultivo.

Si un invernadero tiene en promedio una altura de 3,25 m, su índice de intercambio sería:

$$Z = 170 / 3,25 = 52,3 \text{ renovaciones por hora.}$$

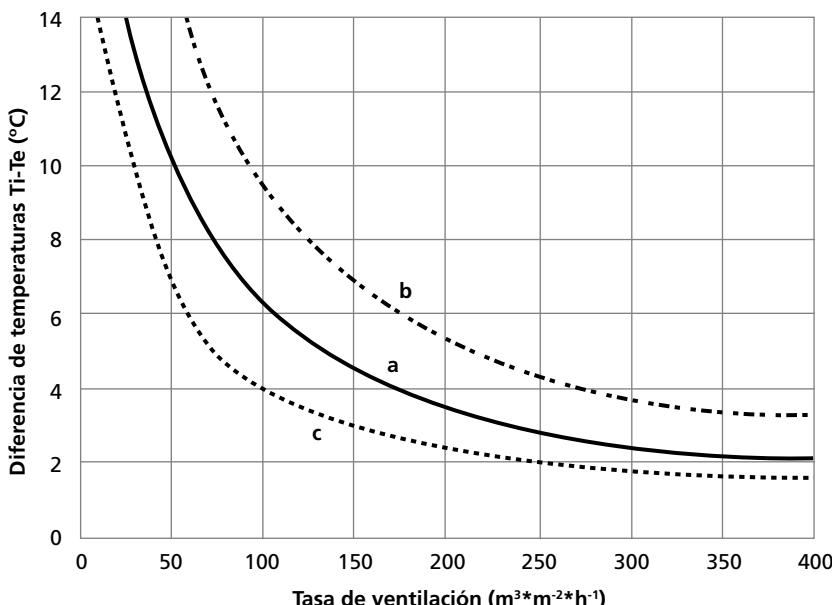


Figura 15. Diferencia de temperaturas interior - exterior en invernadero.

Esto quiere decir que el volumen del invernadero debe ser renovado 52,3 veces a la hora.

De los trabajos de investigación sobre ventilación natural realizados por diversos autores se citan las siguientes conclusiones (Valera Martínez y col., 1999, Montero, 1999):

- Una abertura lateral que represente una superficie inferior a la mitad de la superficie de una abertura en cumbre dará tasas de renovación de aire comparables.
- Las ventanas de cara al viento (barlovento) son más eficaces que las ventanas de espalda al viento (sotavento), muy especialmente en invernaderos estrechos.
- La ventilación por aberturas laterales y cenitales crea un efecto chimenea de forma que el aire entra por las ventanas laterales y sube hacia las cenitales por donde sale. Para velocidades de viento pequeñas o nulas, la utilización de los dos tipos de aberturas, en proporciones de 1 a 1.5 entre superficie lateral y cenital, se muestra superior y muy potente. Esta constatación es importante porque los problemas de ventilación se presentan sobre todo cuando hay poco viento o ninguno.
- El efecto chimenea puede multiplicar hasta por 10 las tasas de renovación con respecto a una sola abertura (para velocidades de viento menores a 1 m/s)
- Con una velocidad de viento superior a 2-3 m/s, el efecto del viento predomina sobre la convección natural. En presencia de fuerte viento (más de 4 m/s) una ventilación cenital es suficiente y preferible (mejor resistencia de la estructura).
- La combinación de la ventilación lateral con la cenital es el mejor sistema de ventilación consiguiéndose reducciones de temperatura, de hasta 5° C, y de humedad con respecto a la ventilación lateral.
- Las ventanas cenitales de las primeras naves son las que tienen más importancia en el intercambio de aire. Conviene aumentar su tamaño.
- La ventilación exclusivamente lateral debe hacerse con tamaños de ventana parecidos a barlovento (sector de donde proviene el viento) y sotavento, si hay mucha diferencia entre ellos el caudal de ventilación se verá limitado por la ventana más pequeña y la disminución de la temperatura será inferior a la obtenida con ventanas semejantes.
- Gracias a la evapotranspiración, la vegetación permite limitar las diferencias de temperatura y disminuir las necesidades de ventilación. Además, en presencia de vegetación, las renovaciones de aire son del mismo orden de magnitud, tanto en grandes túneles como en pequeños, siendo el factor de escala la tasa de abertura.
- La simulación de la vegetación por medio de una malla cortavientos es práctica, pero simula una vegetación dos veces más densa que una plantación real de tomates. Sin embargo, una malla cortavientos de 1.25 m y una vegetación real de la misma altura tienen comportamientos térmicos idénticos.
- La presencia de un cultivo alto y denso en el invernadero modifica el flujo del aire debido a la resistencia aerodinámica que ofrece el aire.

- A partir de una cierta tasa de abertura, una abertura suplementaria no aumenta en forma significativa la tasa de renovación. El óptimo de abertura total se sitúa entre el 15 y 20% para los invernaderos túnel, valores por encima de los cuales no aumentan de manera significativa las tasas de renovación.
- El flujo de aire resultante de la dirección del viento está afectado principalmente por la configuración de las ventanas a través de las cuales entra el aire. El efecto chimenea produce una creciente corriente de aire hacia las aberturas en cumbre, permitiendo la entrada de aire frío a través de las ventanas situadas en las bandas por movimiento horizontal a lo largo del suelo.
- Debido a la interacción entre la acción del viento y el efecto chimenea se produce un incremento de la temperatura media en la zona del cultivo, siendo casi constante en el rango de velocidades de 0 a 2 m/s para un invernadero con aberturas en cumbre y en bandas.
- La distribución tridimensional de temperatura muestra que se producen temperaturas considerablemente elevadas en la zona adyacente a la parte superior de la banda de barlovento cuando el ángulo de incidencia del viento es de 90°. Para asegurar una buena distribución de temperatura sería recomendable instalar aberturas de ventilación en las bandas de barlovento, sobre todo en los invernaderos multicapilla.
- La ventilación abriendo únicamente la ventana a sotavento es muy poco efectiva al ser muy pequeño el caudal de ventilación por lo que puede ser aconsejable para días de invierno donde se desee bajar la humedad relativa sin perder demasiada temperatura en el invernadero. Para días con exceso de calor debe abrirse tanto a sotavento como a barlovento a no ser que la excesiva velocidad del viento lo desaconseje.
- La dirección del viento es un parámetro de menor importancia.
- La dirección del viento a partir de los 40° con respecto a la pared a barlovento hasta los 90° (viento perpendicular a la pared) apenas modifica el caudal de ventilación y por lo tanto la temperatura interior.
- Las inercias son siempre despreciables.
- Deflectores en las aberturas cenitales ayudan a dirigir el aire hacia la zona del cultivo.
- En el caso de invernaderos artesanales a dos aguas, la pendiente del techo mínima para asegurar una tasa aceptable de ventilación es de 25 °.

*Ventilación forzada o mecánica:* los ventiladores/extractores permiten un control más preciso de la temperatura del invernadero que el que puede lograrse con la ventilación pasiva.

No son de uso frecuente debido al precio de los equipos e instalaciones y al consumo de energía.

Sin embargo, debido al aumento del uso de mallas anti insectos (que provocan una ventilación natural insuficiente), está creciendo levemente su presencia en los invernaderos argentinos, especialmente en aquellos dedicados a cultivos de alta rentabilidad.

La ASAE (American Society of Agricultural Engineers) establece una serie de recomendaciones mínimas para los sistemas de ventilación forzada:

- La tasa de ventilación mínima debe ser de 3/4 a 1 cambio total de aire por minuto (40 a 60 renovaciones por hora).
- Los ventiladores deben hacer circular el caudal de aire previamente calculado a la presión estática de 0,03 Kilopascales.
- La distancia entre dos ventiladores contiguos no debe ser mayor a 7,5 metros para asegurar la uniformidad en el flujo del aire.
- Situar los extractores a sotavento de los vientos dominantes en verano. Si necesariamente es preciso instalarlos a barlovento, se debe aumentar el volumen a ventilar por cada extractor en un 10%.
- Para evitar la entrada de aire cuando los ventiladores no estén en funcionamiento: instalar persianas móviles que abran hacia fuera sólo cuando operen los equipos.
- Las aspas deben estar protegidas con tela metálica de alambre de 1.5 mm de grosor mínimo y aperturas de 13 mm, que debe estar al menos a 100 mm de distancia de cualquier parte móvil para prevenir accidentes.

Con la ventilación mecánica simple se facilita la entrada de aire del exterior (con su temperatura y humedad) que se expulsa, después de barrer el interior, evacuando humedad, gases y carga de calor.

La temperatura mínima interior que puede esperarse con este sistema será a lo sumo la misma que la del aire exterior.

Para realizar un cálculo simple del caudal de aire y del número de extractores a utilizar se puede recurrir a:

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = \text{volumen del invernadero} \times N$$

Donde:

$Q$ = caudal total necesario en el invernadero

$N$ = número de renovaciones deseadas / hora (entre 40 y 60)

El número de ventiladores (extractores) necesarios es el siguiente:

$$\text{Número de extractores} = Q / q$$

Donde:

$Q$ = caudal total necesario en el invernadero

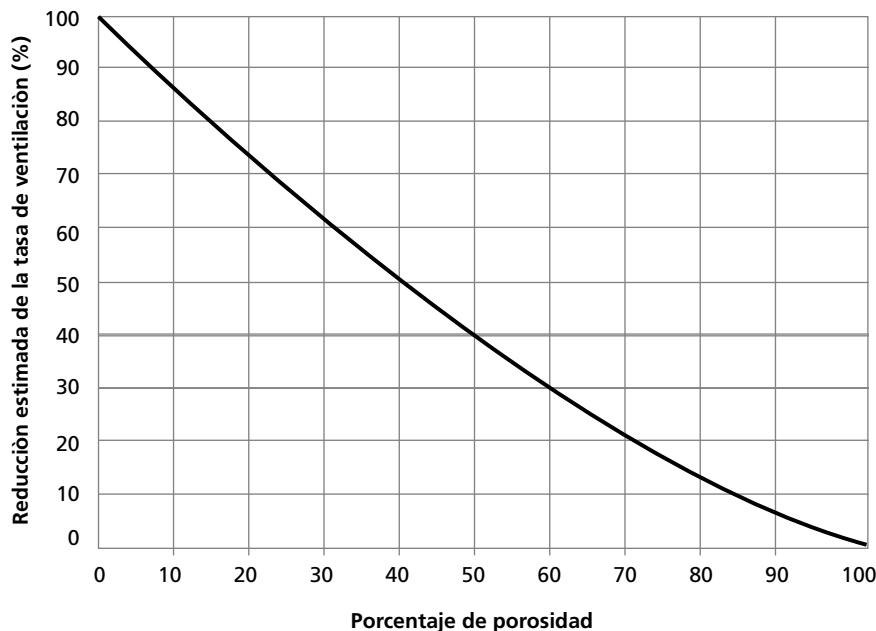
$q$ =caudal de un extractor

#### *Ventilación del invernadero con malla anti-insectos*

En algunas regiones y durante algunos períodos del año, los horticultores deben enfrentarse al serio problema de los ataques de áfidos, mosca blanca y trips. La

utilización de redes ant-insectos es útil únicamente cuando la reducción de la ventilación y por tanto el aumento de temperatura dentro del invernadero, causa menos problemas que los parásitos y las enfermedades que la malla trata de detener.

La porosidad de la malla anti-insectos en las aberturas del invernadero ejerce un efecto inversamente proporcional en la reducción de la tasa de ventilación propia de la estructura en que se ubica (Figura 16-Fuente: Bailey, 2003).



**Figura 16.** Reducción estimada de la tasa de ventilación de un invernadero en función de la porosidad de la malla anti-insectos ubicada en sus aberturas.

Para compensar la pérdida de tasa de ventilación debida a la malla, es necesario aumentar la superficie de aberturas en el grado máximo posible, y/o recurrir a técnicas de climatización complementarias.

Para calcular el factor por el cual debe multiplicarse el área de aberturas de un invernadero para que su tasa de ventilación no se reduzca, Bailey (2003) propuso la siguiente fórmula:

$$As/Av = 1 / (\text{porosidad} \cdot (2 - \text{porosidad}))$$

Donde:

As= área de la ventana con malla

Av= área de la ventana original

porosidad es un factor que oscila entre 0 (completamente cerrada) y 1 (completamente abierta)

Esta expresión, se puede ver en la figura 17, donde se muestra el factor por el cual el área de ventilación filtrada debe aumentarse para compensar la reducción de la ventilación.

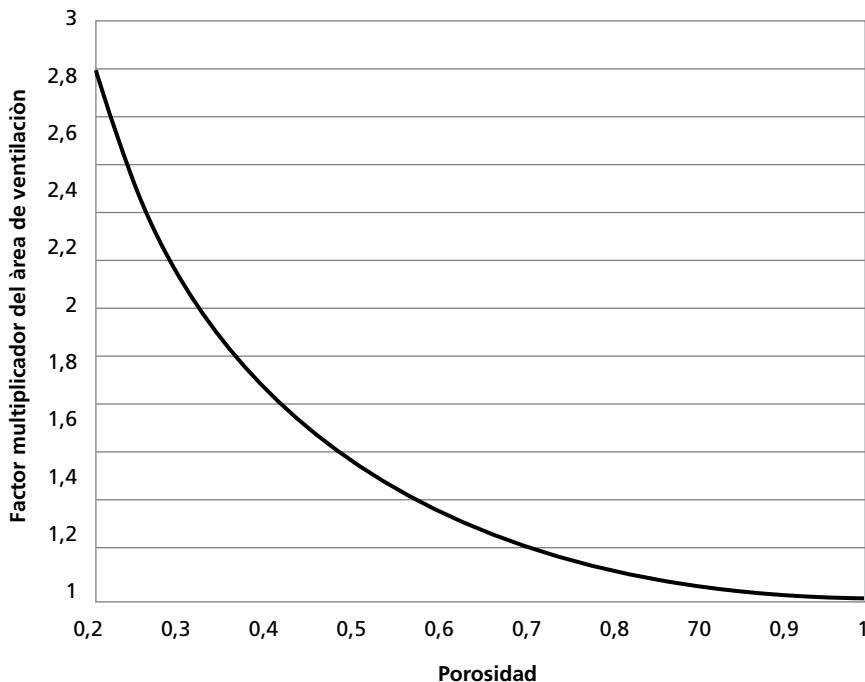


Figura 17. Factor de incremento de ventilación en función de la porosidad.

Experiencias en Argentina (Francescangeli, 1999; Lenscak y col., 2004)

En la Estación Experimental INTA San Pedro se realizaron experimentos durante varias campañas que tuvieron como objetivo la evaluación de los efectos de las mallas anti-insectos en el clima del invernadero ante la presencia de cultivos de tomate y pimiento.

Como síntesis de las conclusiones obtenidas se puede indicar:

El uso de las mallas anti-insectos durante la primavera favoreció aumentos excesivos de las temperaturas de aire en días calmos o con vientos muy leves, aún con valores templados en el exterior, pero no impidió la ventilación y consecuente disminución de las temperaturas en presencia de vientos moderados o regulares, cualquiera haya sido la temperatura del aire exterior. Esto confirmó la importancia del efecto eólico en el movimiento de las masas de aire.

En la época de primavera las temperaturas de aire promedio, las temperaturas de suelo y la humedad relativa del aire no reflejaron los efectos del uso de las mallas

anti-insectos sobre el microclima del invernadero, como lo hicieron las temperaturas de aire máximas diarias y los valores horarios.

El sombreo del invernadero con malla anti-insectos durante la primavera y el verano, con malla negra exterior al 30% de sombreo, si bien no impidió que se registraran valores puntuales superiores a 35°C, favoreció el descenso de las temperaturas de aire, mejorando las condiciones del cultivo en relación a un invernadero similar con malla anti-insectos sin sombrear y a un testigo sin malla anti-insectos y sin sombrear.

La ventilación forzada, a partir de 25°C, mostró un excelente desempeño al favorecer que en el aire del invernadero manejado con malla anti-insectos se mantuvieran las temperaturas por debajo de 30°C durante períodos más prolongados que en el testigo sin mallas.

Por lo tanto, para la zona Norte de la Provincia de Buenos Aires, se confirmó como promisoria la complementación de las mallas anti-insectos con el sombreo y/o la ventilación forzada del invernadero para disminuir las temperaturas máximas que se alcanzan en el aire durante la primavera y el verano.

En la zona de Corrientes, por trabajar con invernaderos sin calefacción durante la estación invernal, las mayores temperaturas debidas al uso de malla sirvieron para lograr un mejor rendimiento en los cultivos. Ya en época primavero-estival se comenzaron a vislumbrar los problemas señalados para la zona de San Pedro, teniendo por lo tanto las mismas recomendaciones ya apuntadas.

### **Sombreo**

El sombreo de las plantas se basa en la posibilidad de bajar la temperatura de un invernadero disminuyendo la cantidad de energía radiante que penetra.

El sombreo tiene mucha más influencia sobre el clima del invernadero si la ventilación es escasa. Por ejemplo si la tasa de renovación es  $10\text{ h}^{-1}$ , una malla blanca desciende la temperatura en 3 ó 4°C, mientras que si es de  $60\text{ h}^{-1}$  el descenso térmico es de apenas 1°C.

Los tipos de sombreo más utilizados son:

### **Encalado**

Para encalar, se recubre con cal y algún adhesivo las paredes y techo del invernadero (desde el exterior) durante el período estival. La aplicación se hace con mochila o rodillos. La concentración a usar depende de las necesidades del cultivo. Debe retocarse después de las lluvias y lavarse completamente a fines del verano. Este tipo de aplicación resulta en una falta de homogeneidad y por tanto, existen diferencias en la cantidad de luz que llega a las plantas. La preparación de la mezcla también influye en la transmisión de radiación. Conforme aumenta la concentración de cal, la transmitancia se reduce, impidiendo el paso de radiación fotosintéticamente activa (PAR) frente a la del infrarrojo corto.

En zonas de poca lluvia se prefiere el carbonato de calcio porque es fácil de eliminar por el lavado. En zonas más húmedas es preciso usar soluciones de cal apagada. Bajo un punto de vista técnico, el blanqueo presenta una serie de inconvenientes. El primer aspecto negativo es la permanencia de la cal en el invernadero durante períodos de cielo cubierto. Los sistemas estáticos no permiten ajustar el grado de sombreo en función de las condiciones ambientales.

#### *Embarrado*

Se efectúa desde el interior y cumple con el mismo propósito que el encalado. Se aplica con rodillo y se quita por fricción con materiales blandos.

#### Mallas de sombreo. Tejido agrícola.

Son mallas de polipropileno negro de distintas densidades en el tramo, las cuales se tienden sobre el techo del invernadero. Aunque más costosas que la práctica del encalado, tiene la ventaja de su rápida eliminación cuando ya no se necesita. La gama de mallas con distinto porcentaje de transmisión, reflexión y porosidad del aire es muy amplia. Según trabajos realizados en Cuba, el color de la malla no tiene influencia en los rendimientos en cultivos sin suelo.

Siempre que sea posible, deben situarse las mallas de sombreo en el exterior, aunque así se limita la vida útil de la red y se complica la instalación, pero tiene como ventaja que la reducción de temperatura es más adecuada. Pero con un régimen de vientos muy elevados, ese tipo de instalación no es recomendable. La malla interior absorbe la radiación solar y la convierte en calor dentro del invernadero, calor que debe ser evacuado por ventilación. Por el contrario, la malla exterior se calienta con la radiación, pero se refrigerará con el aire exterior del invernadero. Otro punto importante a tener en cuenta al instalar la red de sombreo es que, a menudo, se provoca una disminución de los intercambios de aire entre la zona de vegetación y el medio exterior. Las mallas colocadas dentro del invernadero presentan el inconveniente de dificultar el paso del aire caliente hacia las ventanas centrales, por tanto, el sombreo y la ventilación tienen que ir asociados.

#### *Pantallas aluminizadas*

Son telas con fibras metálicas que se colocan en el interior de las estructuras (como las pantallas térmicas de invierno). Los materiales metálicos o aluminizados reflejan la luz incidente. El sombreo de esta pantalla es una consecuencia de la reflexión no de la absorción como en las mallas. Están ampliamente difundidas en España y Francia.

El sombreo estático tiene el inconveniente de resultar excesivo en días nublados y a las primeras y últimas horas del día, afectando la fotosíntesis neta de algunas especies. Si se cuenta con algún sistema de arrastre de la malla o pantalla que abra o cierre en función de los niveles de luz, se puede lograr un uso mucho más eficiente de la radiación disponible.

**Sistemas activos****Por ventilación forzada**

El uso de ventiladores permite un control más preciso de la temperatura del invernadero que el que puede lograrse con la ventilación pasiva. Con todo, no es frecuente encontrar equipos de este tipo por la inversión necesaria para su instalación y el consumo de energía.

**Refrigeración por evaporación de agua**

El agua al pasar del estado líquido al vapor, absorbe calor. Al utilizar un equipo capaz de vaporizar agua en el invernadero, la vaporización absorberá calor del aire del invernadero disminuyendo la temperatura ambiente.

La evaporación del agua continúa hasta que el aire se satura (humedad relativa del 100%). La temperatura del aire en condiciones de saturación se llama temperatura húmeda. No es posible bajar la temperatura ambiente por debajo de la temperatura húmeda, puesto que el aire no admite más cantidad de agua en el estado gaseoso. Todo el proceso de saturación transcurre de manera que la energía de la mezcla de aire y vapor de agua no varía. Se produce un cambio de calor sensible (descenso de la temperatura) por calor latente (aumento del contenido de vapor de agua en la mezcla de aire húmedo).

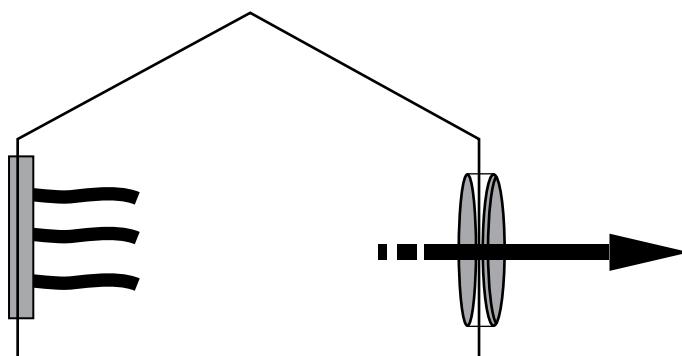
La cantidad de agua evaporada dependerá de la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la transpiración del cultivo. La refrigeración por evaporación es mucho más efectiva en climas secos. En clima húmedo el invernadero debe tener tasas de ventilación elevadas para que su temperatura esté por debajo de la exterior. En clima seco la combinación de la evaporación y la ventilación puede reducir la temperatura hasta cerca de 10° C por debajo de la exterior.

**Paneles evaporantes o cooling**

Se trata de una pantalla o panel de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. El panel se sitúa a lo largo de todo un lateral o un frontal del invernadero. En el extremo opuesto se instalan ventiladores eléctricos. El aire exterior entra a través de los paneles porosos que enfrián y saturan de humedad ese aire que se introduce en el invernadero con mayor contenido de humedad y menor temperatura. Posteriormente el aire es expulsado del invernadero por los ventiladores. El enfriamiento es mayor cuanto más seco sea el aire exterior.

Los paneles evaporantes se presentan en 2 tipos: por sobrepresión y por depresión. La elección entre los 2 sistemas está determinada por la hermeticidad del invernadero. Los paneles se construyen en fibras de madera o materiales alveolares imputrescibles.

Salvo por el precio, los paneles de celulosa son mejores que los de fibra ya que admiten agua de mala calidad, tienen mayor superficie de contacto y por tanto, se puede reducir el área de paneles a instalar y no se compactan.



**Figura 18.** Esquema de paneles evaporantes.

La mejor distancia desde la pantalla a los ventiladores es la comprendida entre 20 y 25 m. En invernaderos muy largos se pueden instalar ventiladores en el centro sobre el techo y las paneles en ambos extremos.

La velocidad óptima del aire a través de los paneles es función del material, recomendándose para la fibra 1 m/s y para un panel de celulosa de 100 mm de espesor, 1.25 m/s.

Para un flujo uniforme de agua, la altura de los paneles no debe ser mayor de 2.5 m ni menor de 0.5 m. El caudal de agua mínimo en paneles de fibra debe ser de 4 l/min y en celulosa de 6 l/m. El volumen de depósito de agua debe ser de aproximadamente 30 litros por cada  $m^2$  de panel.

#### *Aspersión de agua en el interior*

Se basa en la transformación de la energía radiante incidente en calor latente, por evaporación de gotas de agua emitidas por aparatos de aspersión.

Se habla de brumización cuando las gotas tienen un tamaño superior a los 200 micrones. Estas gotas caen al suelo y el cultivo, de donde se evaporan más o menos rápidamente según la temperatura de estas superficies.

Se habla de nebulización o "fog" cuando las gotas tienen menos de 100 micrones y quedan en suspensión en el aire hasta su completa evaporación. Debido al escaso tamaño de las partículas, su velocidad de caída es muy pequeña, de modo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos. Si las condiciones ambientales hacen que las gotas se depositen sobre las hojas, la cantidad de agua depositada es suficientemente pequeña como para no dañar los cultivos.

La temperatura del aire del invernadero sufre descensos significativos del orden de 3-4° tal como se observa en la figura 19, tomado de un ensayo de picos nebulizadores, comparando con un testigo sin nebulizar y la temperatura externa.

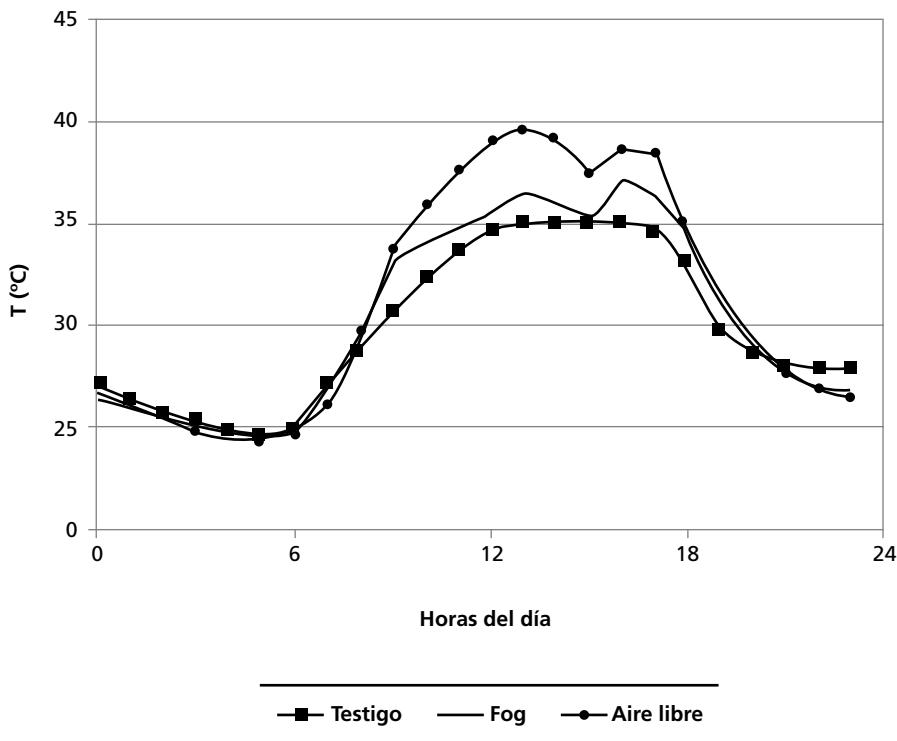
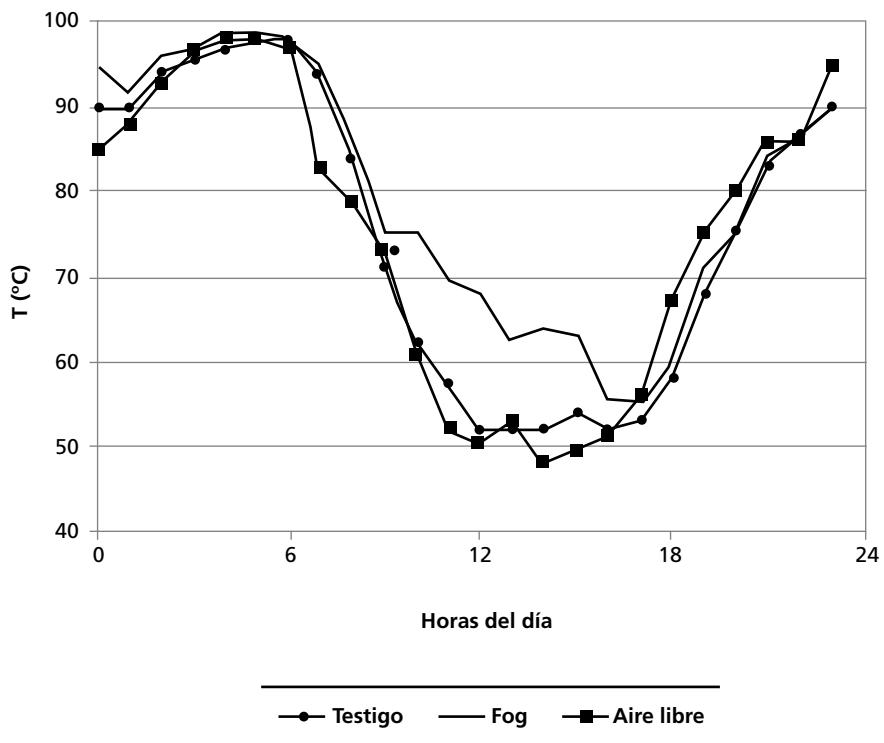


Figura 19. Temperaturas con un sistema de nebulización comparado con un testigo.

La nebulización reduce significativamente el flujo de transpiración del cultivo, de manera más o menos proporcional a la intensidad de nebulización. Su efecto se produce esencialmente sobre la componente advectiva de la transpiración, ya que el déficit de saturación interno sufre bajadas importantes durante los períodos de nebulización. Esto se puede observar en la figura 20, donde la diferencia de humedad relativa entre el testigo y el nebulizado es del orden del 10%.

A medida que disminuye el tamaño de la gota de agua aumenta el costo de los equipos de aspersión. El elemento más delicado de todo el conjunto es la boquilla de nebulización, pues de su diseño depende la calidad de la instalación. La boquilla recibe agua a presión, la divide en gotas minúsculas y las dispersa a corta distancia. La presión de atomización y la forma de la boquilla son los principales factores que afectan la formación de gotas.

Las boquillas se conectan a tuberías, instalando generalmente una boquilla por cada 6 a 8 m<sup>2</sup> de invernadero. El equipo funciona con agua cuidadosamente filtrada ya que las boquillas pueden obstruirse fácilmente. Las boquillas de alta presión (40 a 60 kg/cm<sup>2</sup>) producen gotas pequeñas, de las que el 95% son menores de 20 micrones de diámetro.



**Figura 20.** Humedad relativa con un sistema de nebulización comparado con un testigo.

#### Aspersión de agua en el exterior

Algunos invernaderos en Italia tienen instalados un sistema de riego por aspersión sobre el invernadero, de modo que es posible crear una película de agua que fluye sobre techo y paredes. Los resultados experimentales en Argentina no mostraron efecto sobre la temperatura ambiente del invernadero. Si es un método para proteger el invernadero en períodos fríos.

## **PARTE II**

### **Invernaderos típicos de la Argentina**

En los siguientes capítulos se desarrolla una descripción de los principales invernaderos existentes en el país, destacando su evolución y los principales cultivos que se realizan. Además, se hace hincapié en destacar los problemas que se advierten relacionados con el ambiente físico de estos sistemas de producción forzada.

Para las diferentes regiones estudiadas se aplicó una metodología consistente en el uso de indicadores generados por cada grupo de trabajo. En todos los casos se realizó un exhaustivo relevamiento en las diferentes empresas productoras de cultivos intensivos en invernaderos a los fines de censar las estructuras existentes y determinar sus dimensiones y características constructivas. Esos mismos datos son los que posteriormente permitieron que sean utilizados en el cálculo de los indicadores.

Los resultados de los trabajos realizados permitieron así obtener una valiosa información sobre el porcentual de superficie cultivada mediante invernaderos, los tipos de estructuras utilizadas y una interpretación diagnóstica a partir de los valores obtenidos de los indicadores utilizados. La metodología utilizada y los indicadores obtenidos se describen exhaustivamente en el anexo metodológico.

## Región Central

### Relevamiento y diagnóstico técnico de las estructuras de invernaderos de Córdoba y Santa Fe / Carlos A. Bouzo

#### *Introducción*

El intento por adaptar el ambiente a las necesidades de los cultivos por medio de estructuras de forzado es ya antigua en la historia de la humanidad (van den Muijzenberg, 1980). Sin embargo, el uso de invernaderos para la producción comercial de los cultivos en el mundo se incrementó rápidamente a partir del año 1945 (von Elsner y col., 2000). En Argentina, la producción hortícola mediante invernaderos representó un importante cambio en el modo de producción a partir del año 1980, que tuvo como principales consecuencias la modificación en la estacionalidad de la producción y en la tecnología aplicada en el sector, representada principalmente por las innovaciones en materia de plasticultura, fertirriego y nuevos cultivares (Benencia y col., 1994). En las provincias de Santa Fe y Córdoba la producción hortícola tiene más de cien años iniciándose con la radicación de los primeros colonos europeos (Bouzo y col., 2007). Posteriormente a mediados de la década de 1980 se comenzaron a construir los primeros invernaderos sobre la base de experiencias realizadas en otras zonas del país. La construcción de invernaderos en Argentina se realizó principalmente imitando algunos tipos clásicos a nivel mundial (Brader, 1990) o bien como adaptaciones de estructuras utilizadas para otros fines como fue el caso de Corrientes (Castro, 2006). Actualmente, una gran parte de la superficie con invernaderos fue construida de manera artesanal con madera por grupos de trabajo conformados por personas abocadas a esta tarea. Es reconocido el buen desempeño de los invernaderos metálicos tubulares con importantes innovaciones tecnológicas, construidos por reconocidas empresas en el país sobre el microclima y la productividad de los cultivos. Sin embargo, y principalmente en la horticultura argentina orientada al mercado interno, la utilización de un invernadero siempre implica la obtención de un compromiso entre la sofisticación técnica de estas estructuras y el retorno económico que significa su adopción. Por tal motivo, los invernaderos artesanales cumplen su función de ejercer un forzado, aunque adolecen de muchas fallas técnicas y de diseño que impiden la obtención de una mayor productividad de los cultivos durante el año. Reunir los datos necesarios que permitan analizar la situación actual de los invernaderos en la región, permitiría contar con información real sobre la tipología dominante en cada zona y aspectos de diseño y estructurales que posibiliten mejorar su construcción en el futuro.

El objetivo en esta segunda parte es describir las características estructurales de invernaderos, con especial énfasis en aspectos dimensionales, funcionales y constructivos localizados en distintas zonas de la República Argentina, comenzando en este capítulo por las provincias de Córdoba y Santa Fe.

### **Metodología**

El método de trabajo elegido fue similar para todas las regiones del país, por lo tanto, se describirá seguidamente las generalidades y en cada zona se acotarán solamente las diferencias, como así también las descripciones generales y otros indicadores aportados por cada investigador o grupo de trabajo.

La metodología consistió en efectuar un relevamiento de las empresas productoras de hortalizas y flores bajo invernadero en cada zona (Para las provincias de Córdoba y Santa Fe el censo fue total durante el año 2007). El trabajo se realizó mediante el censado in-situ con una planilla ad-hoc en donde se registraron los siguientes datos: i) nombre del productor, ii) ubicación geográfica de predio; iii) cultivos producidos; iv) tipología, dimensiones y ubicación de los invernaderos y v) materiales utilizados. La ubicación del predio se determinó tomando en consideración la localidad en que se encontraba y la lectura de coordenadas GPS. Las dimensiones de los invernaderos para determinar la extensión del mismo, así como de las ventanas se realizó mediante la lectura de cintas métricas. Con respecto a los materiales utilizados se registraron: tipo de polietileno (aditivos y espesor); utilización de media sombra (tipo y forma de utilización); material de construcción del invernadero en postes y techos. También se relevó el número de invernaderos acoplados lateralmente (adim.); la altura media de la ventana cenital (m); la altura lateral del invernadero (m) y la altura cenital del invernadero (m). Al tratarse de un estudio observacional los datos fueron procesados en planilla electrónica Excel (Microsoft Co.) para realizar la evaluación mediante estadísticos descriptivos. Además, se elaboraron los siguientes indicadores para evaluar la funcionalidad de los invernaderos: 1) Número de Invernaderos acoplados lateralmente / longitud de cada invernadero ( $m^{-1}$ ); 2) superficie de cubierta plástica /superficie de suelo ( $m^2 m^{-2}$ ); 3) volumen total del invernadero / superficie de suelo ( $m^3 m^{-2}$ ); 4) superficie de ventana / superficie de suelo; 5) superficie de ventana cenital / superficie de suelo ( $m^2 m^{-2}$ ). 6) Superficie de ventana lateral / superficie de suelo ( $m^2 m^{-2}$ ).

### **Resultados y discusión**

#### *Descripción de la zona*

En la provincia de Córdoba la producción en invernadero es de 24,7 has distribuidos principalmente en cuatro localidades (Tabla 14). En Santa Fe la superficie con invernaderos es de 102,2 ha distribuidos en quince localidades, todas ellas cercanas al río Paraná (Tabla 14). Algunos invernaderos en Santa Fe están situados en localidades con baja incidencia de heladas, con un alto potencial de desarrollo futuro, de manera similar a lo que ocurre en otras partes del mundo, en donde la mayor concentración de invernaderos es observada en regiones con condiciones climáticas más favorables (von Elsner y col., 2000). Por ejemplo, cerca del 70 % de los invernaderos en Holanda están concentrados en la costa oeste del país, en Grecia cerca del 50 % están en la isla de Creta, en Francia la mayor parte se localiza en la costa mediterránea, al igual de lo que ocurre en España (Briassoulis y col., 1997). No obstante, el análisis climático normal para cada localidad permite apreciar diferencias (Brader,

1990). Por ejemplo, en la provincia de Santa Fe los invernaderos localizados en Monte Vera sufren un régimen de temperaturas más favorables durante el invierno que los situados en Rosario (Figura 21 a,b; Figura 22). Incluso ésta última localidad, aun encontrándose al lado del río Paraná se caracteriza por un clima bastante similar a Villa María en Córdoba que se encuentra en una ubicación mediterránea (Figura 21 c). En los meses estivales, sin embargo, la condición climática de Monte Vera es más complicada que en Rosario o Villa María, incluso hasta el mes de marzo debido a las altas temperaturas (Figura 21 b). Durante los meses invernales, la radiación solar prácticamente no significaría una limitante, a excepción del mes de julio (Figura 21). Es por eso que con cultivos de alta cobertura foliar como puede ser tomate o pimiento durante ese mes, la radiación solar puede limitar la tasa fotosintética (Wang and Boulard, 2000) y el rendimiento, asumiendo que éste es proporcional a la integral lumínica (Bailey and Richardson, 1990). Por lo tanto, algunos aspectos que inciden en la transmitancia solar como el ángulo de techo y el tipo de invernadero son importantes (Baille y col., 1990; Bouzo y Pilatti, 1999; Iglesias y Muñoz, 2007) o el aumento en el número de invernaderos adosados lateralmente (Critten, 1987 a y b) pueden acrecentar el problema de la baja radiación invernal.

En Córdoba el principal destino de los invernaderos es la producción de hortalizas, siendo el tomate el principal cultivo al ocupar una superficie muy cercana al 50 %, seguido luego por apio y pimiento (31 % y 15 %, respectivamente) (Figura 25). En Santa Fe la superficie de invernaderos destinadas a flores de corte y hortalizas es muy similar, con un 52 % y un 48 %, respectivamente. El cultivo para flor de corte predominante es clavel (59,3 %), seguido por rosas (27,1 %) (Figura 26). En tanto que en hortalizas, al igual que en Córdoba el cultivo más importante es tomate (46 %), aunque aquí el pimiento ocupa una superficie mucho mayor que en Córdoba (45 %) siendo prácticamente nula la producción de apio en invernadero (Figura 27). Lo que se observa como común denominador en el caso de las dos provincias, es que la proporción de la superficie total de invernaderos destinado a la producción de plantines es igual al 2 % (Figura 25 y 27).

#### *Dimensiones y tipos de invernaderos utilizados*

En la Figura 28 se presentan los tipos de invernaderos más comunes en Córdoba y Santa Fe. Los esquemas presentados de cada invernadero resumen algunas de las soluciones estructurales existentes, no agotándose en ellas. Con respecto a la tipología de los invernaderos, en Córdoba el principal tipo dominante es denominado a 'Dos Aguas Modificado' (DAM) (Figura 28) que ocupa una superficie cercana a las 23 has, lo que representa prácticamente el 93 % de la superficie (Tabla 15). Otro tipo de invernadero, aunque con una importancia mucho menor al anterior es el denominado 'Cuatro Aguas' (CA) (Figura 28) el que se localiza principalmente en las localidades de Río Cuarto y Villa María.

En Santa Fe, aunque el principal tipo al igual que en Córdoba es el DAM (Figura 28) la proporción de superficie ocupada es menor (40,2 %). Los otros tipos de in-

vernaderos difundidos son los denominados 'Dos Aguas' (DA) y 'Curvo' (CU) (Tabla 16, Figura 28). La altura cenital media de los invernaderos en Córdoba es de 4,0 m para DAM y DA, algo mayor para los invernaderos CA (Tabla 15). En tanto que los invernaderos en Santa Fe son más bajos, con una altura cenital solo comparable a los de Córdoba para el tipo DAM con 3,9 m. Los invernaderos DA y CU en Santa Fe son demasiados bajos para las condiciones climáticas prevalentes en los meses cálidos (Bouchet y col., 2007) (Tabla 16). Otra situación distintiva entre los invernaderos de Córdoba y Santa Fe con respecto a la altura cenital está dado por la mayor uniformidad en Córdoba, a juzgar por el coeficiente de variación (CV) relativamente bajo en comparación a Santa Fe. En éste último caso, esto refleja situaciones de algunos invernaderos aún más comprometida del punto de vista climático debido a la muy escasa altura. Por ejemplo, en los invernaderos localizados en Monte Vera la altura lateral media es de  $2,0 \text{ m} \pm 0,15 \text{ m}$  y la cenital de  $3,3 \text{ m} \pm 0,46 \text{ m}$ . Esta escasa altura provoca un gran incremento de temperatura a la altura del cultivo (Bouchet y col., 2007) que en ocasiones puede reducirse por la remoción de aire debido a la ventilación natural provocada por efecto dinámico del viento (Figura 23). Sin embargo, la ventaja de la ventilación por efecto dinámico disminuye cuando aumenta el número de invernaderos acoplados lateralmente (Bouchet y col., 2007; Baeza y col., 2006). Aproximadamente el 50 % de los invernaderos están acoplados lateralmente con más de 5 unidades (Tablas 17 y 18) que en el caso de Santa Fe para el tipo DA puede significar una deficiente ventilación debido a la ausencia de ventanas cenitales. Por otra parte, en el caso de los invernaderos acoplados lateralmente, otro factor que complica aún más la disipación de calor es la excesiva longitud de los mismos (Mistriotis y col., 1997). Tanto en Córdoba como en Santa Fe la longitud promedio de los invernaderos es de aproximadamente 50 m con excepción de los invernaderos DA en Córdoba que es inferior a 40 m (Tablas 15 y 16). La dispersión con respecto al valor central (CV) es muy alta en casi todas las estructuras, encontrándose una mayor concentración de los datos para el caso de los invernaderos DA en ambas provincias (Tablas 15 y 16). En el caso de los invernaderos CA en Córdoba, su construcción se realiza con longitudes mínimas de 40 m, considerando que más del 50 % tienen más de 50 m de largo (Tabla 17). Sin embargo, esta mayor longitud posiblemente no comprometa la ventilación debido a que más del 50 % se construye individualmente, o a lo sumo con 5 unidades acopladas lateralmente (Tabla 17). Por otra parte, la mayor altura de estos invernaderos y la existencia de ventilación cenital permiten mejorar la renovación de aire y consecuentemente la temperatura interna.

Otro factor de interés para analizar con respecto al diseño es la pendiente de techumbre. La pendiente media general de los techos de los invernaderos en Córdoba es de  $25^\circ$  (mínimos de  $21^\circ$  y máximos de  $32^\circ$ ) para el tipo DA y  $16^\circ$  (mínimos de  $11^\circ$  y máximos de  $24^\circ$ ) para el DAM. En el caso de los invernaderos DA ésta pendiente permite maximizar la captación de luz (Bouchet y col., 2003) y en tanto que para los invernaderos a DAM la pendiente es baja, principalmente para los casos extremos mínimos. La orientación de los invernaderos DAM en Córdoba es de 47 % en sentido este a oeste (E-O) y 53 % en sentido norte a sur (N-S), el resto de los tipos de

invernaderos tienen una orientación predominante N-S (Figura 30). Aunque para las latitudes cercanas a 30 ° como es el caso de los invernaderos relevados en este trabajo, la orientación geográfica del eje longitudinal no tienen efecto prácticamente sobre la transmitancia de la radiación solar (Bouzo and Pilatti, 1999).

En Santa Fe la pendiente media de los techos para el tipo DA es de 14,8° (mínimos 8,2 ° y máximo 18,8 °) y para el tipo DAM de 18,6 ° (mínimo 16,9° y máximo 21,8°). De lo expuesto hasta aquí se observa que el patrón constructivo entre Córdoba y Santa Fe en general difiere en que en este último caso los invernaderos son de menor altura (Tabla 16) y con techos de menor pendiente. En el caso de Santa Fe, los invernaderos tienen una orientación variable de acuerdo al tipo de estructura. Para el caso de los invernaderos DA y CU la orientación N-S es la prevalente (83 % y 61 %, respectivamente), en tanto que los invernaderos DAM la orientación más frecuente es la E-O (65 %) (Figura 30). En el caso de los invernaderos con ventilación cenital, la orientación es importante de acuerdo a la dirección de los vientos, prefiriéndose cuando éstos son perpendiculares al eje longitudinal del invernadero (Montero, 1999), que en el caso de la región en estudio, la mayor frecuencia de vientos se da en sentido N-S, siendo por lo tanto más conveniente la orientación de los invernaderos con ventilación cenital la orientación E-O, a pesar de ocurrir un mayor sombreado entre naves (Soriano y col., 2003) especialmente durante los meses invernales con bajo ángulo de altitud solar. Al respecto, en los invernaderos acoplados lateralmente del tipo DAM orientados en sentido E-O, los últimos estudios realizados con CFD (Montero 2006, comunc. pers.) revelaron que las dimensiones de las primeras y últimas ventanas de techo son mucho más importantes que las superficie de ventanas cenitales intermedias para mejorar la eficiencia de la ventilación. La orientación E-O tiene a su vez como desventaja la orientación consecuente de los cultivos siguiendo el eje longitudinal del invernadero (E-O) lo que puede aumentar la resistencia aerodinámica interna impidiendo una adecuada renovación horaria (Hernandez y col., 2006), lo que a su vez se agrava en el caso de cultivos tutorado de gran desarrollo como el caso de tomate y pimiento, en donde la distribución interna de la luz es menos homogénea debido al sombreo entre hileras (Bouzo and Pilatti, 1999).

Con respecto a la pendiente de la canaleta de desagüe para el caso de los invernaderos acoplados lateralmente, en Córdoba el 80 % de los invernaderos DA tiene una pendiente de la canaleta muy cercana a 0°, mientras que en el tipo DAM más del 70 % de los invernaderos tienen una pendiente superior a 0° (Tabla 15). En los invernaderos de Santa Fe, la mayoría tienen una pendiente de canaleta cercana a 0° (Tabla 16). La pendiente de la canaleta es un factor de diseño importante en climas húmedos (Zabeltz, 1990) principalmente en los meses de mayor pluviometría entre octubre y abril (Figura 24) por lo que éste es un factor de diseño importante a considerar en futuras construcciones.

#### *Análisis de los indicadores calculados*

Con respecto a los indicadores utilizados se observaron diferencias tanto entre invernaderos como entre zonas (Tablas 19 y 20). Mediante el indicador 1 que rela-

ciona el número de invernaderos acoplados lateralmente con el largo de cada invernadero, se considera que cuanto mayor resulta esta relación de cero, es posible que se incrementen los problemas de ventilación. Los valores medios generales fueron muy similares para Córdoba y Santa Fe ( $0,12 \text{ m}^{-1}$  y  $0,13 \text{ m}^{-1}$ ; respectivamente). Con respecto al tipo, los invernaderos DA en Santa Fe tuvieron un valor bastante mayor que en Córdoba, lo que indicaría un incremento en los problemas de ventilación debido a que estos tipos de invernaderos carecen de ventilación cenital. Los valores para el tipo DAM, que son los más frecuentes en Córdoba principalmente (Tabla 15), tienen una situación similar con los construidos en Santa Fe, con un valor entre  $0,15 \text{ m}^{-1}$  y  $0,17 \text{ m}^{-1}$ . En estos invernaderos sin embargo, estos bajos valores no necesariamente pueden suponer un problema de ventilación al contar con ventanas cenitales.

El indicador 2 que relaciona la superficie de cobertura con respecto a la superficie de suelo ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) es un estimador indirecto de la pérdida de calor por conducción del invernadero. Aquí el valor general para los invernaderos en Córdoba es menor que para los de Santa Fe, con  $1,22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  y  $1,42 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , respectivamente. Esto indicaría que la posibilidad de pérdida de calor por conducción sería menor en el primer caso. Analizando este indicador según el tipo de invernadero, se observa que en Córdoba este indicador para el caso de los invernaderos DAM es igual que el promedio (Tabla 19), principalmente porque se trata del invernadero más frecuente en la provincia (Tabla 15). Considerando este tipo de invernadero, el valor para Córdoba es menor que en Santa Fe ( $1,45 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) (Tabla 20). El factor de mayor impacto en la modificación de este índice es el número de naves acopladas lateralmente. Entre 1 y 3 invernaderos el porcentaje de disminución de este índice es de casi el 20 %, luego la incorporación de naves adicionales influye de manera marginalmente decreciente a una tasa aproximada de 1 %. Para el caso de los invernaderos DAM, aunque en Córdoba el porcentaje de superficie con un solo invernadero es mayor que en Santa Fe (Tablas 17 y 18), debe ocurrir una compensación con el resto de las dimensiones que modifican este índice como la longitud, ancho y altura de los invernaderos. De ellas las de mayor impacto son el ancho de los invernaderos (cada 10 % de incremento el indicador disminuye casi 3 %) y la altura lateral (cada 5 % de disminución el indicador disminuye en poco más de 1 %).

El indicador 3 que relaciona el volumen total del invernadero con la superficie de suelo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$ ) permite contar con una estimación de la ‘inercia térmica’ del sistema (Bouchet y col., 2007) es decir, la mayor resistencia a los cambios rápidos de temperatura del sistema. Como este indicador tiene una estrecha relación dimensional con el indicador 2, los valores calculados para los invernaderos de Córdoba (Tabla 19) son también mayores que para los de Santa Fe (Tabla 20) ( $3,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  y  $2,66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ , respectivamente).

Con respecto a la tipología, en Córdoba en todos los invernaderos este indicador es mayor que  $3,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  (Tabla 19), en tanto que en los invernaderos de Santa Fe esto ocurre solo en los invernaderos DAM (Tabla 20). De todas maneras, tanto en ambas provincias en función de las condiciones térmicas del verano y del invierno sería deseable un mayor valor del índice 3 para asegurar fluctuaciones menos bruscas de la

temperatura interna. En el caso de las temperaturas de verano, en los invernaderos DA que no cuentan con ventilación cenital, el valor de  $2,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  es muy bajo lo que implica un fuerte calentamiento en un breve período de tiempo. Una diferencia que se detecta también entre las dos provincias estudiadas, es que la variabilidad dimensional de los invernaderos es más marcada en los invernaderos de Santa Fe que en los de Córdoba, a juzgar por el coeficiente de variación más elevado (Tablas 19 y 20).

El indicador 4 que relaciona la superficie de ventana con la superficie de suelo ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) establece una relación directamente proporcional positiva con la tasa de ventilación del invernadero, considerándose que para una eficiente ventilación natural pasiva este valor debe ser al menos de 25 % (F.A.O., 1990); 25 % (Zabelitz, 1990) ó más de 20 % (Montero y col., 2001, Connellan, 2002). El valor general del indicador 4 para Córdoba es ligeramente inferior a Santa Fe ( $0,20 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  y  $0,22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , respectivamente) aunque con un coeficiente de variación mucho menor en primer caso (Tabla 19 y 20). En Córdoba, curiosamente los invernaderos DA tuvieron levemente un mayor valor que en los DAM (Tabla 19), en tanto que en Santa Fe ocurrió lo contrario (Tabla 20). En Córdoba esta situación puede deberse a que como los invernaderos dominantes son los DAM la altura media del zócalo es mayor que en Santa Fe lo que reduce la superficie de ventanas laterales (Figura 29). La utilización de este polietileno fijo en las paredes laterales y frontales de los invernaderos se utiliza para reducir el efecto dañino del viento sobre el cultivo principalmente durante los primeros estadios luego del transplante. Además, la utilización de este elemento permite una mayor estanqueidad durante el cierre de las ventanas laterales, y consecuentemente una menor pérdida de calor por renovación de aire. Aun analizando las ventajas funcionales de este elemento fijo, la excesiva altura disminuye la tasa de ventilación y complica el tránsito de personal durante las operaciones de manejo y cosecha del cultivo.

El indicador 5 que relaciona la superficie con ventanas cenitales y la superficie del suelo aunque no existe precisiones en cuanto al valor que debiera tener esta relación, aproximadamente puede ser concebida entre el 5 al 10 % (Montero, 1999). En los invernaderos de tipo DA en Córdoba la totalidad carece de ventilación cenital, mientras que en Santa Fe el 9 % de estos invernaderos cuentan con algún sistema de ventilación en el techo. También en esta provincia, en los invernaderos CU el 37 % cuenta con ventilación cenital. Con respecto al valor medio del indicador 5, se observó que en Córdoba es el doble que en Santa Fe (Tablas 19 y 20) ( $0,04 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  y  $0,02 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , respectivamente). En los DAM el valor para ambas provincias es el mismo, hallándose un promedio de  $0,05 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , con una dispersión un poco mayor en Santa Fe medida por el coeficiente de variación (Tabla 20). La importancia de la ventilación cenital se incrementa con la disminución de la velocidad del viento, en estas situaciones la renovación del aire es principalmente por efecto convectivo o de flotación (Bot and van de Braak, 1995). Precisamente la importancia de estas ventanas se destaca aquí por cuanto las menores velocidades de viento ocurren en los meses que van de diciembre a marzo (Figura 23). Aunque las velocidades del viento son superiores a  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ , ocurren numerosos días con velocidades del viento inferiores a  $1,0 \text{ m s}^{-1}$ , lo que acentúa la importancia de la existencia de las ventanas cenitales.

### *Evaluación de los materiales utilizados*

Con respecto a los materiales utilizados para la construcción de los invernaderos, no existe demasiada diferencia en cuanto al material de los postes, por cuanto en Córdoba son un 98 % y en Santa Fe un 96 % de madera. Sin embargo, en los materiales utilizados para las cumberras, el 96 % es de madera en Córdoba y en Santa Fe solamente el 56 % corresponde a este material. Estas diferencias se deben a que el principal tipo de invernaderos en Córdoba es el DAM (Tabla 15) en tanto que en Santa Fe existe un 17 % de invernaderos CU construidos con hierro (Tabla 16).

Los materiales utilizados para la cobertura de los invernaderos son en su totalidad del tipo flexibles en ambas provincias y constituidos por polietileno (PE). La diferencia en el tipo de material utilizado entre Córdoba y Santa Fe, es que en éste último caso para el techo se utiliza en un 73 % PE de larga duración térmico (PE LDT) y en un 27 % PE LDT con efecto antigoteo (PE LDT AG). En Córdoba la totalidad de los materiales corresponden a PE LDT. Con respecto al espesor de los materiales utilizados, para el techo en Santa Fe predomina tanto los de 100 µm como de 150 µm, en tanto que Córdoba la casi totalidad del material utilizado en techo es de 150 µm(- Tabla 21). La duración de los PE es variable de acuerdo al espesor y a la provincia. Es conocido el hecho de que los PE con aditivos anti-ultravioleta duran más en función de su espesor (Nijskens y col., 1990). La duración diferencial entre provincias puede deberse a dos factores: la integral de la radiación solar en el año y la velocidad del viento. Por supuesto que hay factores estructurales, de instalación y exposición a los principales factores meteorológicos citados, sin embargo, es sugestivo que la mayor duración de los PE ocurra en Córdoba considerando un valor medio para todos los casos que en Santa Fe (Tabla 21). La integral de la radiación solar en el año en Rosario tiene un valor medio de 6340 MJ m<sup>-2</sup>, en Monte Vera de 5957 MJ m<sup>-2</sup> y en Villa María de 5911 MJ m<sup>-2</sup> (INTA, 2008). La velocidad del viento también es mayor en las dos primeras localidades en comparación con Villa María (Figura 23).

El sombreo artificial durante los meses de mayor intensidad de la radiación solar es una técnica valiosa para el control de las temperaturas extremas (Bouzo y col., 2003). En Santa Fe las mallas de sombreo son utilizadas en el 51,1 % de los invernaderos, en tanto que en Córdoba es utilizada en el 69 % de los invernaderos. En Santa Fe un 13,8 % de los invernaderos utiliza media sombra con un índice de obstrucción (IO) de 50 %, correspondiendo en su totalidad a productores clavel. El resto utiliza media sombra con un IO de 35 %, colocándola el 98 % sobre el invernadero y el 2 % dentro del mismo. En Córdoba en el 69 % de los invernaderos se utiliza malla de sombreo, no habiéndose registrados invernaderos con uso de mallas de 50 % de IO. La totalidad de las mallas utilizadas tienen un IO de 35 %, siendo colocadas en un 69 % de los casos sobre el techo y el resto en el interior del invernadero.

### **Conclusiones**

El tipo de estructura para invernadero dominante difiere entre las provincias, siendo el tipo a Dos Aguas Modificado (DAM) más frecuente en Córdoba, en tanto que en San-

ta Fe lo es también el tipo a Dos Aguas (DA). En algunas localidades de Córdoba existe un tipo de invernadero novedoso para la zona, denominado 'Cuatro Aguas' (CA).

Debido a la existencia de meses con temperaturas altas, la altura de los invernaderos en general es baja lo que incidiría en problemas de ventilación, alta temperatura a nivel de los cultivos y baja inercia térmica que puede traducirse en fuertes fluctuaciones de temperatura durante el día.

La intensidad de la radiación solar puede no representar un factor limitante para la productividad de los cultivos, a excepción de aspectos de construcción y diseño que disminuyan la transmitancia interna como la pendiente de techo o el acoplamiento lateral de invernaderos orientados en sentido E-O.

La pendiente de las canaletas de desagüe pluvial en el caso de los invernaderos acoplados lateralmente en una gran mayoría de los invernaderos elevados es muy baja.

En invernaderos de Córdoba se observó una menor relación de superficie de cubierta con respecto a la del suelo, lo que redundaría en una menor pérdida de calor por conducción en comparación con los invernaderos de Santa Fe.

La superficie de ventanas laterales es baja en la mayoría de los casos. En los invernaderos de Córdoba esto en parte puede deberse a la excesiva altura de las paredes laterales fijas (zócalos).

La superficie de ventanas cenitales debiera ser mayor, especialmente en los invernaderos de los extremos en los casos de naves acopladas lateralmente.

El tipo de material utilizado para la cobertura difiere entre las provincias, como así también la duración de los mismos, posiblemente a diferentes en los regímenes de radiación solar, viento y aspectos relacionados con la colocación y exposición de los techos.

**Anexo de Tablas****Tabla 14.** Localización y distribución porcentual de la superficie con invernaderos en las provincias de Córdoba y Santa Fe.

Provincia	Localidad	Superficie (%)	Coordenadas geográficas	
Córdoba	Cosquín	36,7	31° 15' S	64° 27' W
	Montecristo	31,7	31° 21' S	63° 54' W
	Río Cuarto	15,3	33° 07' S	64° 21' W
	Villa María	16,3	32° 26' S	63° 12' W
Santa Fe	Alvear	0,6		
	Ángel Gallardo	0,2	31° 32' S	60° 40' W
	Arroyo Seco	1,4	33° 10' S	60° 27' W
	Barrancas	14,2		
	Coronda	3,6	31° 59' S	60° 56' W
	Desvío Arijón	3,7	31° 51' S	60° 52' W
	General Lagos	1,7		
	Helvecia	3,5	31° 07' S	60° 07' W
	Monte Vera	5,3	31° 32' S	60° 41' W
	Pérez	31,7	32° 00' S	60° 45' W
	Recreo	8,8	31° 31' S	60° 43' W
	Rosario	9,5	32° 57' S	60° 42' W
	Santa Fe	2,7	31° 34' S	60° 41' W
	Santa Rosa	8,4	31° 25' S	60° 20' W
	Villa Gdor. Gálvez	4,7		

**Tabla 15.** Distribución de la superficie y dimensiones características de los principales tipos de invernaderos existentes en Córdoba.

Tipo de Invernadero	Superf. (ha)	Altura (m)				Extensión (m)				Canaleta (pendiente)		
		%	M	CV (%)	M	CV (%)	M	CV (%)	M	CV (%)	M	≈ 0%
DA	0,2	0,9	4,0	7,5	2,0	10,0	38,0	21,1	8,5	29,4		
CA	1,6	6,3	4,2	5,5	2,6	18,7	53,0	16,7	17,6	12,5	1,0	80% 20%
DAM	22,9	92,7	4,0	6,8	2,6	19,0	47,3	33,3	9,7	23,2	2,7	26% 74%

**Tabla 16.** Distribución de la superficie y dimensiones características de los principales tipos de invernaderos existentes en Santa Fe.

Tipo de invernadero	Superf. ha	Altura			Extensión			Canaleta (pendiente)		
		Cenital %	Lateral M (m)	Longitud CV (%)	Ancho M (m)	CV (%)	M (m)	CV (%)	M (m)	≈0% > 0%
DA	40,9	38,5	2,9	27,3	2,0	12,2	51,6	22,8	7,3	22,7 0,2 95% 5%
CU	18,5	17,4	3,1	24,7	2,0	18,7	58,5	36,8	7,6	25,1 0,3 69% 31%
DAM	42,7	40,2	3,9	15,4	2,3	12,0	51,7	45,2	9,2	33,0 0,1 89% 11%

**Tabla 17.** Proporción de la superficie total con invernaderos a Dos Aguas Modificado (DAM) y Cuatro Aguas (CA) en Córdoba según el número de unidades acopladas lateralmente, largo (m) y ancho (m) de los mismos.

Inv. Acopl. Nº	DAM	CA	Largo	DAM	CA	Ancho	DAM	CA
	%		m	%		m	%	
1	38	55	≤ 20	0	0	≤ 6	0	0
> 1 ≤ 5	7	45	> 20 ≤ 30	31	0	> 6 ≤ 9	51	0
> 5 ≤ 10	23		> 30 ≤ 40	15	0	> 9 ≤ 12	49	0
> 10 ≤ 15	32		> 40 ≤ 50	23	51	> 12 ≤ 15	0	34
> 15 ≤ 20	0		> 50 ≤ 60	3	25	> 15 ≤ 18	0	5
> 20	0		> 60	28	24	> 18	0	61

**Tabla 18.** Proporción de la superficie total con invernaderos a Dos Aguas Modificado (DAM) y Cuatro Aguas (CA) en Santa Fe según el número de unidades acopladas lateralmente, largo (m) y ancho (m) de los mismos.

Nº Inv. Acopl.	DA	CU	DAM	Largo	DA	CU	DAM	Ancho	DA	CU	DAM
	%		m	%		m	%		%		
1	13	25	30	≤ 20	0,2	0,0	0	<=6	18	16	0
> 1 ≤ 5	35	54	14	> 20 ≤ 30	3,6	3,5	16	> 6 <=9	70	39	65
> 5 ≤ 10	27	13	18	> 30 ≤ 40	15,0	10,2	11	> 9	12	45	34
> 10 ≤ 15	22	8	9	> 40 ≤ 50	62,6	36,3	50				
> 15 ≤ 20	3	0	8	> 50 ≤ 60	1,2	4,1	3				
> 20	0	0	21	> 60	17,3	45,9	20				

**Tabla 19.** Valores medios y dispersión (CV %) de los indicadores obtenidos para Córdoba.

Invernadero	Indicador	Unidad	Media	CV %
General			0,13	92
DA	1	m <sup>-1</sup>	0,04	50
CA			0,04	25
DAM			0,15	100
General			1,22	7
DA	2	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1,34	3
CA			1,18	2
DAM			1,22	8
General			3,06	9
DA	3	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	3,00	4
CA			3,33	5
DAM			3,02	9
General			0,20	26
DA	4	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0,21	23
CA			0,19	14
DAM			0,20	29
General			0,02	76
DA	5	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0,00	0
CA			0,08	12
DAM			0,02	50
General			0,07	71
DA	6	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0,14	57
CA			0,13	38
DAM			0,06	65

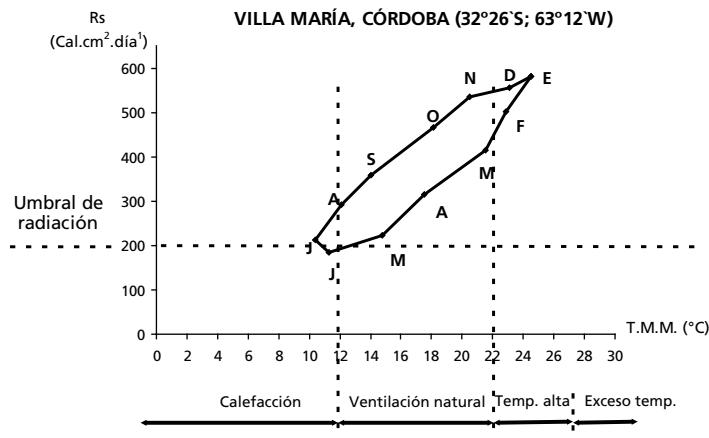
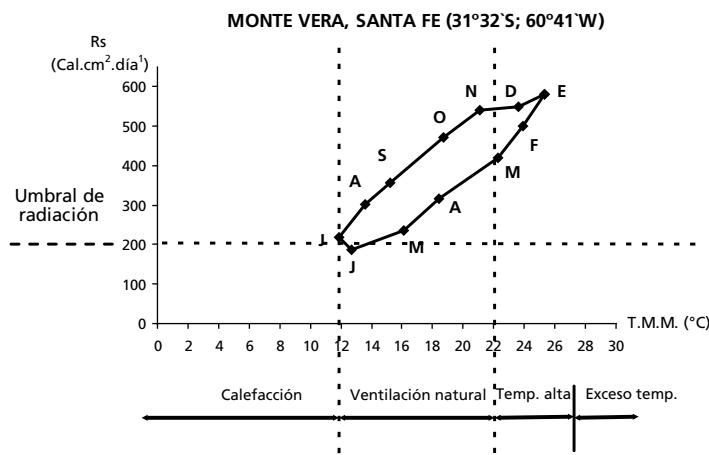
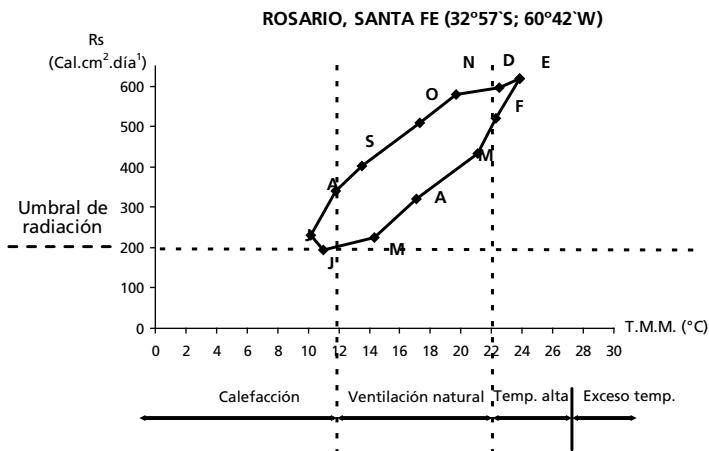
**Tabla 20.** Valores medios y dispersión (CV %) de los indicadores obtenidos para Santa Fe.

Invernadero	Indicador	Unidad	Media	CV %
General			0,124	81
DA	1	m <sup>-1</sup>	0,12	83
CU			0,07	71
DAM			0,17	88
General			1,42	11
DA	2	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1,38	13
CU			1,43	11
DAM			1,45	10
General			2,66	19
DA	3	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	2,45	15
CU			2,52	22
DAM			3,10	12
General			0,22	51
DA	4	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0,20	59
CU			0,22	49
DAM			0,24	41
General			0,01	100
DA	5	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0,002	250
CU			0,002	150
DAM			0,03	67
General			0,14	71
DA	6	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	0,15	73
CU			0,16	68
DAM			0,12	75

**Tabla 21.** Tipo y duración del Polietileno de Larga Duración Térmico (PE LDT) utilizado en techo y pared en invernaderos localizados en Córdoba y Santa Fe.

Provincia	Ubicación	Espesor del PE LDT (um)		
		100	150	200
Santa Fe	Techo	%	45,6	53,0
		Superf. techo (m <sup>2</sup> )	557491	647834
		Duración (año)	1,8	2,5
	Pared	Cambio anual (m <sup>2</sup> )	309717	259134
		%	40,5	58,1
		Superf. pared (m <sup>2</sup> )	156739	224759
Córdoba	Techo	Duración (año)	1,8	2,5
		Cambio anual (m <sup>2</sup> )	87077	36152
		%	0,8	98,4
	Pared	Superf. techo (m <sup>2</sup> )	2270	279680
		Duración (año)	1,8	3,0
		Cambio anual (m <sup>2</sup> )	1261	93227
		%	59,6	38,3
		Superf. pared (m <sup>2</sup> )	22672	90381
		Duración (año)	1,8	2,5
		Cambio anual (m <sup>2</sup> )	12596	36152
				411

## Anexo de Figuras

**a****b****c**

**Figura 21.** Climogramas de la radiación solar media diaria mensual ( $\text{Cal m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ) y la temperatura media diaria mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) de las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.

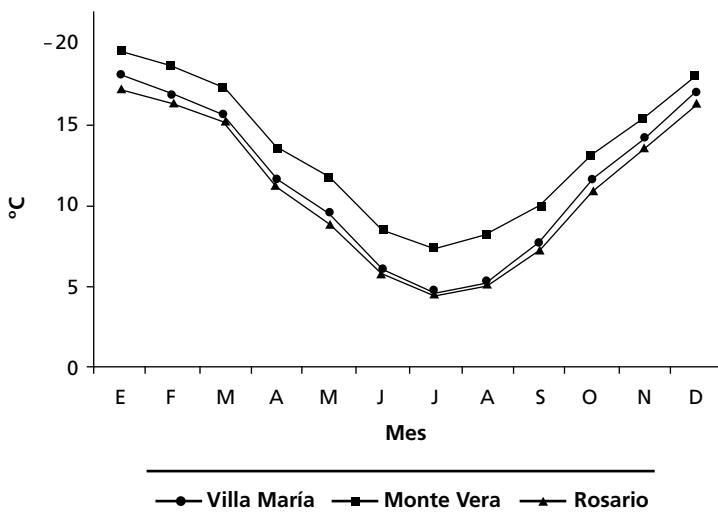


Figura 22. Temperatura mínima media diaria mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) para las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.

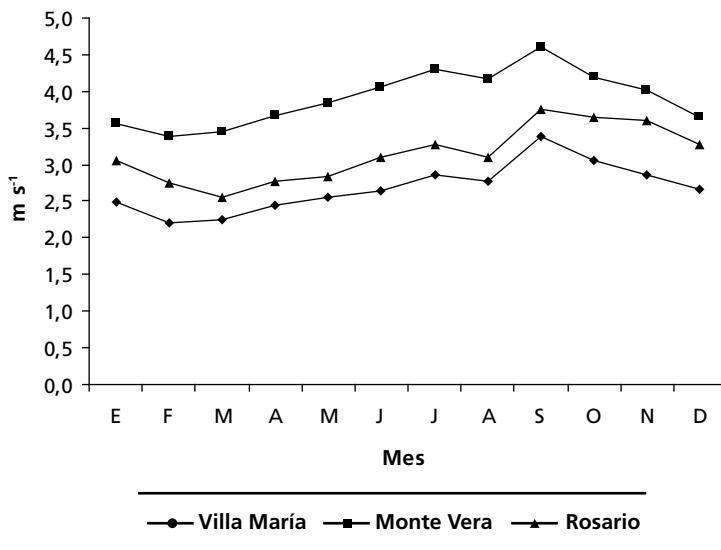
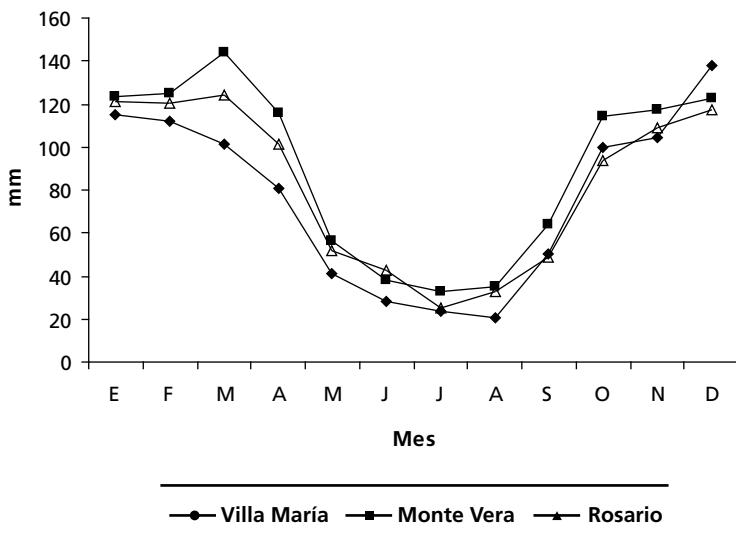
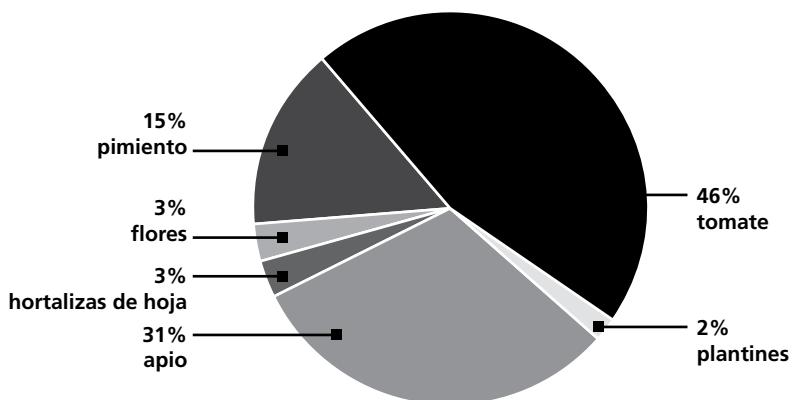


Figura 23. Velocidad del viento medio diario mensual ( $\text{m s}^{-1}$ ) para las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.



**Figura 24.** Pluviometría media mensual (mm) para las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.



**Figura 25.** Proporción de la superficie total de invernaderos destinados cultivos hortícolas y flores para corte en Córdoba.

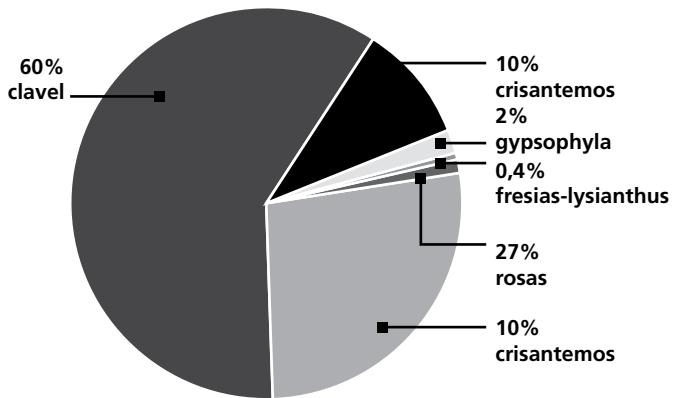


Figura 26. Proporción de la superficie total de invernaderos destinados cultivos de flores para corte y ornamentales en Santa Fe.

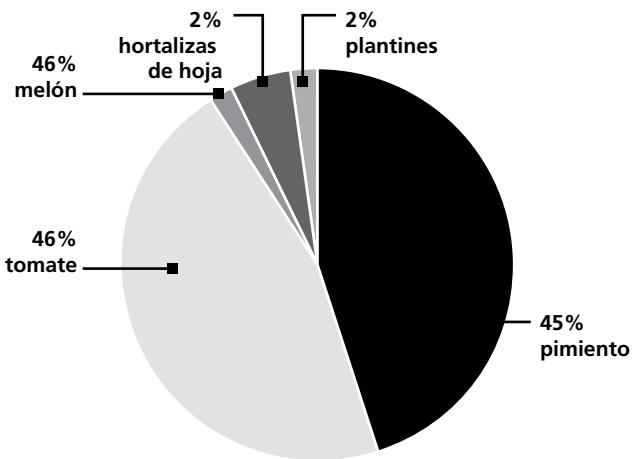
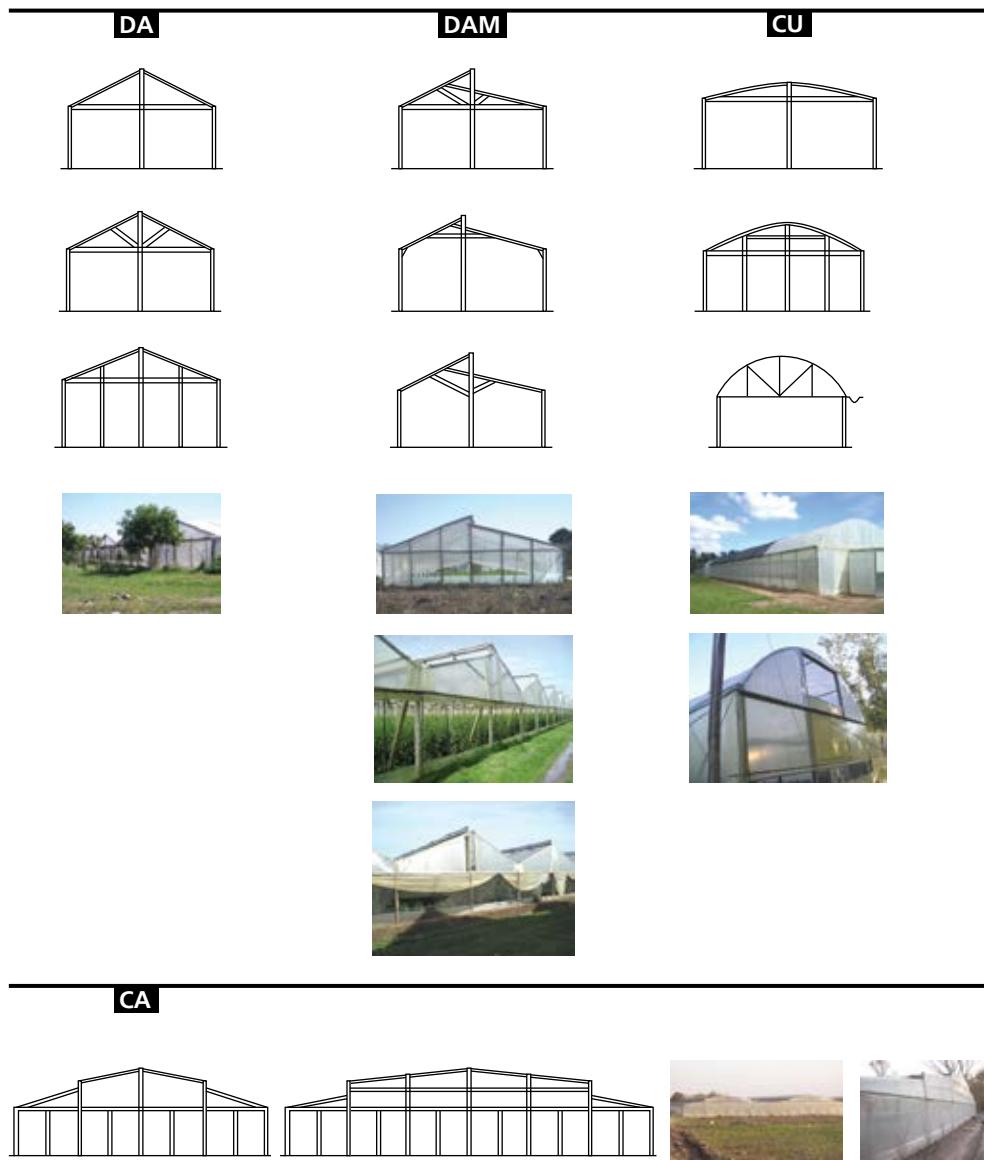
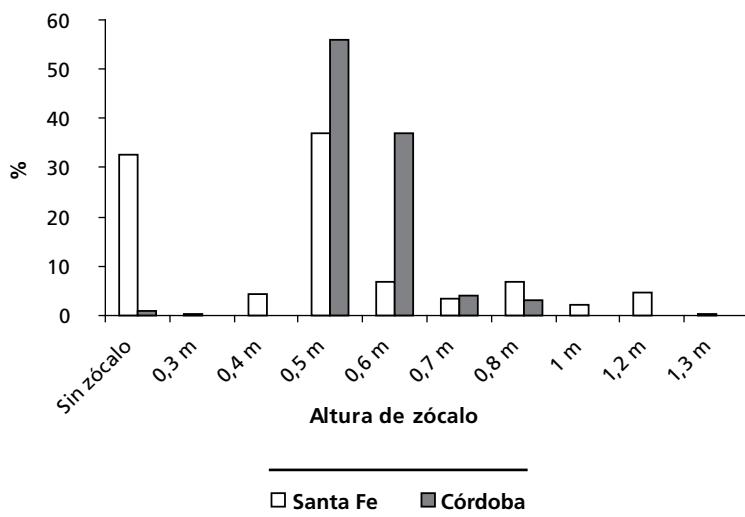


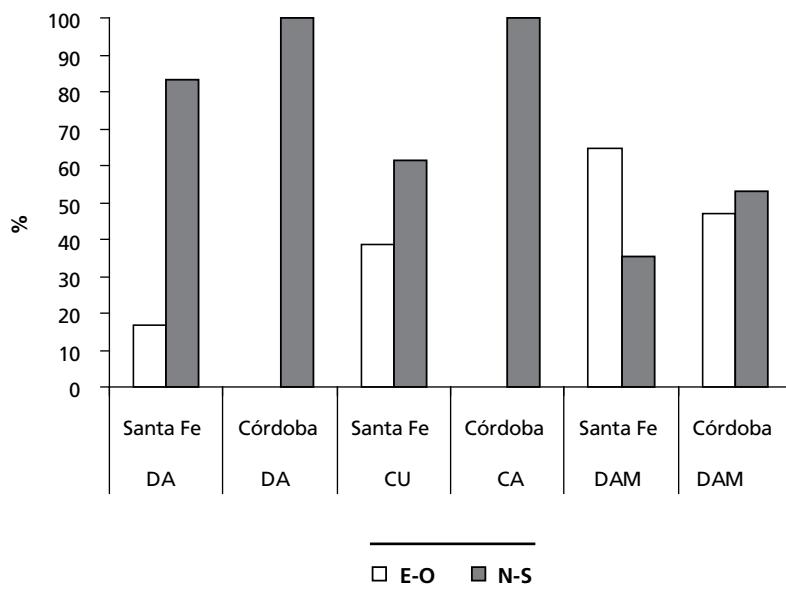
Figura 27. Proporción de la superficie total de invernaderos destinados cultivos de hortícolas en Santa Fe.



**Figura 28.** Tipos de invernaderos más habituales en las provincias de Córdoba y Santa Fe: DA; dos agua; DAM; dos aguas modificado; CU, curvo y CA, cuatro aguas. Los cortes transversales de las diferentes estructuras son ilustrativas no respetando la escala real.



**Figura 29.** Altura media del polietileno colocado en la parte inferior de las paredes laterales y frontales (zócalo) en los invernaderos de Córdoba y Santa Fe.



**Figura 30.** Orientación geográfica del eje longitudinal de los diferentes tipos de invernaderos en Córdoba y Santa Fe.

## Región Pampeana

### Situación actual de la producción en invernaderos en el cinturón hortícola de La Plata, provincia de Buenos Aires / S. Martínez, M. Garbi, R. Andreau

#### *Introducción*

El cultivo en invernadero es una práctica tradicional en el ámbito productivo del Cinturón Hortícola de La Plata fundamentalmente para la producción de flores de corte. En la actualidad, el sector hortícola ha ido ganando relevancia y es el que presenta mayor nivel de utilización de cultivos protegidos.

En el partido de La Plata, la generalización de esta técnica en las explotaciones hortícolas se inició en la década del 80, con naves de 6 a 6,50 m formando módulos de 3 o 4 invernaderos con un largo variable de 40 a 90 m. Las estructuras predominantes eran de madera blanda y polietileno de 100 a 150 µm de espesor (Benencia y col., 1994).

Según datos censales (CHFBA, 2005), en el partido existen 738 explotaciones hortícolas, con 1842,83 ha destinadas a la producción a campo y 765,56 ha bajo cubierta, de las que 16.909 estructuras son de madera y 281 de metal, con preponderancia del polietileno como material de cobertura. El relevamiento realizado por López Camelo (2012) mediante análisis de imágenes satelitales informa para la región en estudio, una superficie de 2258,62 ha bajo cubierta. El crecimiento en los últimos años ha sido vertiginoso, y según una estimación hecha con SIG, la superficie bajo cubierta del área del Gran La Plata, en 2016 fue de 5462 ha (Miranda, 2017)

**Tabla 22.** Distribución por especie de cultivos protegidos en el área del Gran La Plata.

Especie	Superficie [ha]
Acelga	21,21
Apio	61,40
Espinaca	148,20
Lechuga crespa	82,12
Lechuga criolla	89,87
Lechuga mantecosa	510,46
Berenjena	5,10
Pimiento	141,22
Tomate larga vida	60,45
Tomate perita	40,63
Tomate redondo	180,20
Otras hortalizas	49,10

Fuente: CHFBA, 2005

Según puede observarse en la Tabla 22, la producción bajo cubierta estaba conformada por cultivos de hoja y de fruto, pudiendo observarse la preponderancia de la lechuga mantecosa, el pimiento y los distintos tipos de tomates.

En La Plata se estudiaron los efectos causados por estructuras tipo capilla (con y sin abertura cenital), parral y parabólica sobre las temperaturas máximas, mínimas y medias, comparando los valores alcanzados en el interior de las mismas respecto a los valores externos. Se observó un patrón similar en el régimen térmico interno de todas las coberturas analizadas, con valores de temperaturas medias y medias máximas significativamente superiores a las temperaturas externas. Los valores de temperaturas medias máximas se ubicaron entre los 33 y 42,8 °C, y las medias entre 25,6 y 30 °C. Las temperaturas mínimas medias no fueron modificadas respecto a las exteriores, con valores promedio entre 14,4 y 18 °C; aunque en los registros diarios se presentaron diferencias de hasta 8 °C, ocurriendo inversión térmica en algunos períodos. Se pudo concluir que los invernaderos tipo capilla con abertura cenital fueron los que presentaron mejor ventilación natural (Garbi y col., 2002). Una situación equivalente se registró en una evaluación realizada durante enero de 2007, comparando la marcha térmica en un invernadero parabólico y otro capilla, entre los que no se observaron diferencias significativas en los valores alcanzados, pero se computaron registros con temperaturas medias máximas que superaron los 41 °C en 19 días del mes en el invernadero tipo capilla, y los 40,5 °C en 20 días en el parabólico (Grimaldi y col., 2007).

Las condiciones térmicas registradas en los estudios mencionados, ponen de manifiesto que en el interior de las coberturas más comunes en la zona en estudio pueden generarse condiciones que limitarían los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos más frecuentemente realizados, si se consideran los valores térmicos más significativos para las especies cultivadas, que son: las temperaturas máximas, mínimas y óptimas diurna y nocturna (Tesi, 1974).

Respecto a la radiación disponible en la zona, mediciones de radiación fotosintéticamente activa (PAR, según sus siglas en inglés) realizadas en 2012, arrojaron en el ambiente externo valores de 1795 µmoles.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> en febrero, 1357 µmoles.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> en marzo y 1164 µmoles.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> en abril, con una transmitancia hacia el interior de un invernadero parabólico conformado por 3 naves que fluctuó entre 36% y 76,8%, correspondiendo los valores más bajos mediciones realizadas en otoño en las naves cubiertas con polietileno más antiguos (4 años desde la colocación) (Carbone y col., 2012).

El objetivo de este trabajo fue relevar la situación de la producción de cultivos forzados en el Cinturón Hortícola de La Plata (Provincia de Buenos Aires) considerando aspectos estructurales y climáticos de los invernaderos.

### **Metodología**

La metodología consistió en efectuar un relevamiento sobre 85 empresas productoras bajo invernadero en el Cinturón Hortícola de La Plata, Provincia de Buenos Aires.

Se censaron las diferentes estructuras considerando aspectos dimensionales y constructivos, según se detalla a continuación:

- 1) Superficie de las explotaciones y superficie cubierta
- 2) Tipo de invernaderos
- 3) Número de invernaderos
- 4) Número de módulos
- 5) Dimensiones del módulo: largo y ancho
- 6) Altura lateral y central
- 7) Tipo de ventilación
- 8) Dimensión de ventilación lateral y cenital
- 9) Características constructivas: materiales estructurales y de cobertura
- 10) Cultivos principales realizados

Los datos obtenidos mediante este estudio observacional se interpretarán mediante la utilización de los siguientes indicadores:

**1) Indicadores de relación:**

- a) Número de invernaderos acoplados / largo de cada invernadero [ $m^{-1}$ ]: se presenta el valor medio y la desviación estándar.
- b) Superficie de cubierta plástica / superficie de suelo [ $m^2 \cdot m^{-2}$ ]: se presenta el valor medio y la desviación estándar.
- c) Volumen total del invernadero / superficie de suelo [ $m^2 \cdot m^{-3}$ ]: se presenta el valor medio y la desviación estándar.
- d) Superficie de ventana / superficie de suelo [%]: se consideraron los valores dados como óptimos por distintos autores y se presenta la cantidad de invernaderos que cumplen con esa condición.
- e) Superficie de ventana cenital / superficie de suelo [%]: se consideró el valor óptimo y se presenta la cantidad de invernaderos que cumplen con esa condición.
- f) Superficie de ventana lateral / superficie de suelo [%]: se consideró el valor óptimo y se presenta la cantidad de invernaderos que cumplen con esa condición.

**2) Indicadores de dimensión**

- a) Número de invernaderos acoplados lateralmente: se elaboró una escala que permitió clasificar los invernaderos y expresar su relación porcentual respecto al total de estructuras.
- b) Altura media de la ventana cenital [m]: se presentan los valores medios.
- c) Altura lateral [m]: se elaboró una escala que permitió clasificar los invernaderos y expresar su relación porcentual respecto al total de estructuras.

- d) Altura cenital del invernadero [m]: se elaboró una escala que permitió clasificar los invernaderos y expresar su relación porcentual respecto al total de estructuras.

### 3) Indicadores de materiales

- a) Material de construcción: se consideró el % de invernaderos construidos con madera o metálicos.
- b) Polietileno de techumbre: se elaboró una escala que permitió clasificar los invernaderos según su material de cobertura y expresar su relación porcentual respecto al total de estructuras.
- c) Polietileno de pared: se elaboró una escala que permitió clasificar los invernaderos según su material de cobertura y expresar su relación porcentual respecto al total de estructuras.

### 4) Indicadores de orientación y climáticos

- a) Orientación del eje principal: se consideraron dos orientaciones: NO – SE y NE – SO, presentándose el % de estructuras para cada una.
- b) Cuadrante de los vientos [%]: a partir de datos normales
- c) Velocidad del viento: [m.s<sup>-1</sup>]: velocidad media del viento en periodo de invierno y verano.
- d) Temperatura [°C]: media máxima de verano y media mínima de invierno.

### **Resultados**

De las 399,68 ha cubiertas que comprendieron el relevamiento, las estructuras capilla ocupan una superficie de 379,37 ha (95% del total) y las parabólicas, 20,31 ha (5% del total).

### *Indicadores de relaciones*

#### 1. Número de invernaderos acoplados lateralmente / largo de cada invernadero

Este índice puede relacionarse a problemas de ventilación, considerando que los mismos se incrementan cuanto mayor valor alcanza la relación de las variables consideradas. En el área relevada, el índice alcanza un valor promedio para los invernaderos tipo capilla de 0,098 m<sup>-1</sup>, con una desviación estándar de 0,167, y para las estructuras parabólicas de 0,113 m<sup>-1</sup> de media y 0,099 de desvío.

#### 2. Superficie cubierta plástica / superficie de suelo

La relación entre estas variables permite estimar las pérdidas de calor por conducción, encontrándose un valor promedio de 1,151 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> y 1,095 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> para los invernaderos tipo capilla y parabólicos respectivamente, con una desviación estándar de 0,123 y 0,029.

### 3. Volumen total del invernadero / superficie de suelo

Esta relación puede brindar una estimación de la inercia térmica del sistema, observándose en las estructuras relevadas un valor promedio de  $2,57\text{m}^3.\text{m}^{-2}$ , con una desviación estándar de 0,268 para las estructuras tipo capilla y  $2,37\text{ m}^3.\text{m}^{-2}$  con un desvío de 0,277 para las parabólicas.

### 4. Superficie de ventana / superficie de suelo

Tomando como base los valores considerados por distintos autores para una adecuada ventilación, sobre un total de 1032 estructuras, que cubren unas 399,68 ha se presentan en el Tabla 23 el número de estructuras, superficie cubierta que representan y su relación porcentual respecto al total.

**Tabla 23.** Relación entre la superficie de ventanas / superficie de suelo

Relación	Nº de invernaderos	% sobre el total de estructuras	Sup. cubierta [ha]	% sobre el total de sup. cubierta
> 25%	21	2	0,75	0,19
> 20%	60	5,81	4,21	1,08
15 – 25%	169	16,4	20	5,15

### 5. Superficie de ventana cenital / superficie de suelo

**Tabla 24.** Relación entre la superficie de ventana cenital / superficie de suelo.

Relación	Nº de invernaderos	% sobre el total de estructuras	Sup. cubierta [ha]	% sobre el total de sup. cubierta
Sin VC	278	27	165,45	41
Hasta 5%	650	63	190,19	48
5 -10%	72	7	36,65	9
> 10%	31	3	7,38	2

Los datos que se muestran en la tabla, corresponden al total de los invernaderos relevados. En el caso particular de los invernaderos parabólicos, 16,6 ha (83%) no tiene ventilación cenital, y el 17% restante poseen ventilación cenital en su mínima expresión (inferior al 2%).

### 6. Superficie de ventana lateral / superficie de suelo

**Tabla 25.** Relación entre la superficie de ventana lateral / superficie de suelo. Estructuras tipo Capilla.

Relación	% sobre el total de estructuras	Nº de invernaderos
< 5%	44	458
5 - 10%	46	477
> 10%	9	96

Los datos que se muestran en la tabla, corresponden a los invernaderos tipo capilla. En el caso de los invernaderos parabólicos, el total de estructuras posee ventilación lateral inferior al 5% (28 estructuras)

*Indicadores de dimensiones***1. Número de invernaderos acoplados lateralmente****Tabla 26.** Cantidad de invernaderos según el número de módulos acoplados.

Módulos acoplados	Invernaderos	% sobre el total
1	253	25
2	166	16
3	76	7
4	94	9
5	146	14
6	46	4
7	37	4
8	14	1
9	6	1
10	86	8
11	14	1
12	30	3
13	8	1
14	3	0,29
16	12	1
18	5	0,48
20	15	1
22	5	0,48
24	1	0,10
25	15	1

**2. Altura media de la ventana cenital**

Las estructuras relevadas presentan una altura media de la ventana cenital de 30,15 cm.

**3. Altura lateral**

Del total de las coberturas relevadas, 305 estructuras presentan una altura lateral de 2 m, representando el 30% del total. Las restantes 727 estructuras, presentan una altura lateral de 2,5 m.

**4. Altura cenital del invernadero****Tabla 27.** Cantidad de invernaderos según la altura cenital

Altura cenital (m)	Invernaderos	% sobre el total
2,5	174	16,9
3,0	49	4,75
3,4	18	1,74
3,5	206	20
3,6	585	56,7

El valor promedio de la altura cenital corresponde a 3,36 m, mientras que la moda (el valor más frecuente) es de 3,6 m y la mediana es de 3,5 m

#### *Indicadores de materiales*

##### **1. Material de construcción**

**Tabla 28.** Materiales utilizados para la construcción de las estructuras

Material	Invernaderos	Superficie [ha]	% total de superficie
Madera	1026	394,2	98,9
Metal	6	4,21	1,08

##### **2. Materiales utilizados como cobertura**

**Tabla 29.** Espesores de polietileno utilizados para cubrir las estructuras

Espesor	Invernaderos	Superficie [ha]	% total de superficie
100 µm	456	158,51	40,8
150 µm	576	229,9	59,2

#### *Indicadores de orientación y climáticos*

##### **1. Orientación del eje longitudinal del invernadero**

**Tabla 30.** Porcentaje de invernaderos según su orientación

Orientación	Invernaderos	% total de estructuras
NE – SO	629	60,95
NO - SE	403	39,05

##### **2. Condiciones climáticas en La Plata**

Las características generales del mes de enero pueden resumirse en los siguientes valores:

- Temperaturas:
- Media mensual: 25,2 °C; Máxima media: 29,4 °C; Mínima media: 18,0 °C
- Humedad relativa: 75%
- Heliofanía efectiva: 8,9 horas
- Velocidad del viento: 17 km.hora<sup>-1</sup> (4,8 m.s<sup>-1</sup>)
- Dirección predominante del viento: Este
- Con respecto a los datos anuales, se pueden observar en las figuras 31 a 33.

#### *Discusión*

Las estructuras que se utilizan actualmente en la zona en estudio no difieren en cuanto a sus materiales constructivos de los que describieron Benencia y col. (1994) para la región. Sigue siendo predominante la utilización de la madera para la cons-

trucción de las coberturas y la utilización de polietilenos de 100 a 150 µm de espesor, observándose un incremento considerable en la cantidad de módulos acoplados, que tradicionalmente era de 3 ó 4.

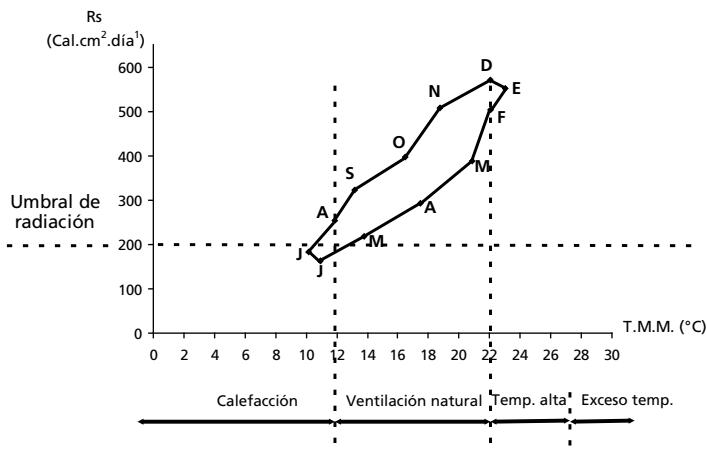
En términos generales, los indicadores de relaciones que permiten evaluar condiciones de ventilación en las estructuras, dejan ver que en los invernaderos de la zona en estudio son pocas las estructuras que cumplen con los requerimientos para que las renovaciones de aire sean eficientes.

La ventilación de un invernadero es directamente proporcional a la relación entre la superficie de ventana y la superficie de suelo. FAO (1990) considera adecuada una relación de al menos 25%, observándose que en la zona solo un 2% de las estructuras presentan este valor. Un 5,81% de las estructuras presentan una relación mayor al 20%, mientras que un 16,4% de las coberturas se ubican entre el 15 – 25%, relación deseable de acuerdo a Matallana y Montero (1995).

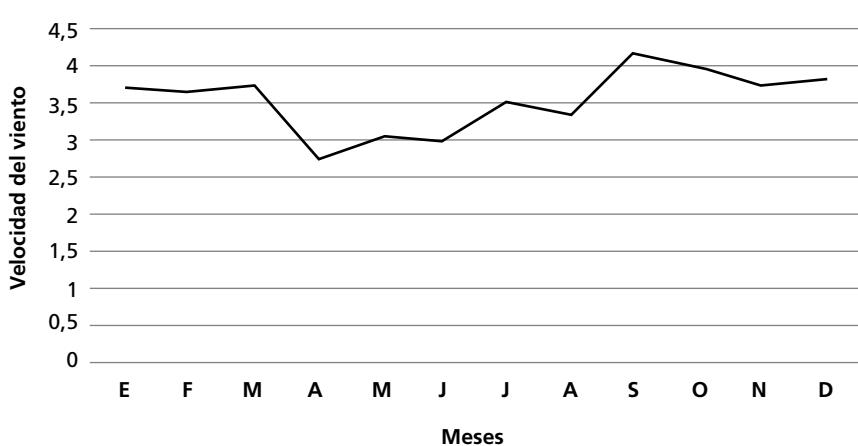
Considerando separadamente la superficie de ventanas cenitales o laterales en relación a la superficie de suelo, los valores considerados adecuados se ubican en más de un 10% en el primer caso, y más de un 15% en el segundo caso, observándose que la mayoría de los invernaderos presentan valores que se encuentran por debajo de estos porcentajes; situación que podría deberse al número de módulos acoplados en forma lateral en una misma estructura. Martínez (1994) consideró la diferencia que existe entre el tamaño de las estructuras y las aberturas para ventilación puede provocar la ocurrencia de temperaturas superiores a 40 °C en el interior de las coberturas, situación registrada en invernaderos típicos de la zona en el periodo estival (Garbi y col., 2002).

### **Conclusión**

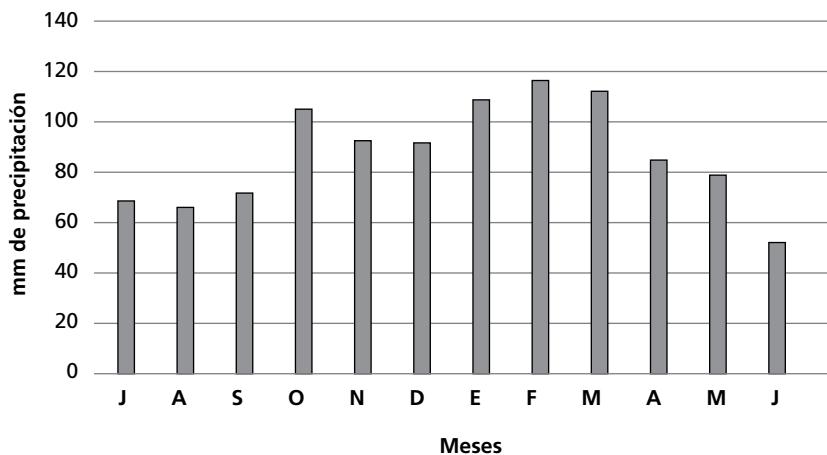
Puede concluirse que uno de los problemas más frecuentes en los invernaderos de la zona estarían relacionados a los bajos porcentajes de superficie de ventanas, tanto laterales como cenitales, respecto a la superficie de suelo, lo que implicaría problemas de ventilación en las estructuras.

**Anexo Figuras**

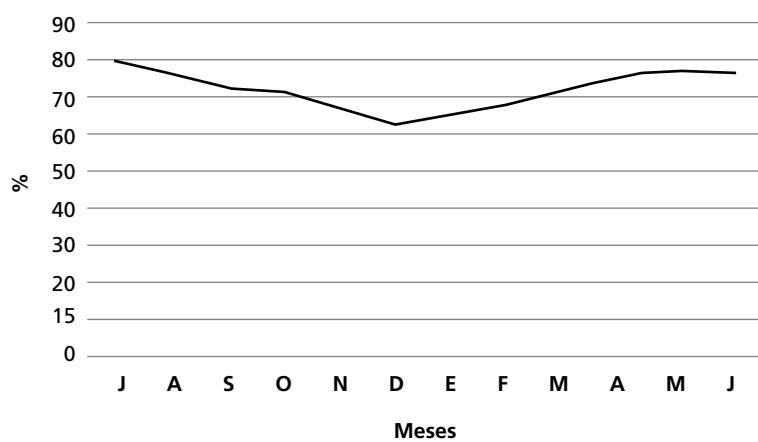
**Figura 31.** Climograma de la radiación solar media diaria mensual ( $\text{Cal m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ) y la temperatura media diaria mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) de la localidad de La Plata.



**Figura 32.** Velocidad del viento medio diario mensual ( $m s^{-1}$ ) para la localidad de La Plata.



**Figura 33.** Pluviometría media mensual (mm) para La Plata.



**Figura 34.** Evolución de la Humedad Relativa media mensual (%) para La Plata.

# CAPÍTULO 10

## Región Noreste

**Relevamiento y diagnóstico técnico de las estructuras de invernaderos de la provincia de corrientes / Mario Pedro Lenscak**

### ***Introducción***

La Provincia de Corrientes fue, durante la época de los 90 la zona de mayor concentración de invernaderos del país, ubicados en su mayoría en la costa del río Paraná, en las localidades de Bella Vista, Lavalle y Goya. Según los datos del último censo agropecuario existen 978 has. con invernaderos, de las cuales el 65% están dedicadas al tomate y el 29% al pimiento (INDEC, 2002).

Las primeras estructuras de invernadero que se construyeron surgieron de la adaptación de tendaleros para secanza de tabaco y, sobre éstas estructuras, se colocó un polietileno y se utilizaron en época invernal para la producción de hortalizas (Castro, 2006). Posteriormente, se comenzaron a construir otro tipo de modelos, pero siempre utilizando uno de los recursos que más se disponía en la zona: la madera. Los otros modelos fueron estructuras tipo diente de sierra, y a dos aguas con ventilación cenital. En la actualidad, se observan distintas combinaciones de las estructuras señaladas, junto con estructuras metálicas tipo parabólicas (Lenscak, 2007).

Esta zona tiene clima subtropical con lluvias otoño-primaverales. Los inviernos son suaves y la frecuencia de heladas es baja, con lo cual no constituyen un serio problema de daño a las plantas en cultivo bajo invernadero, debido a la escasa duración e intensidad. Sin embargo, uno de los problemas que se presentan en la zona es la eliminación de las altas temperaturas durante los meses de primavera y otoño, y donde es muy difícil cultivo en el período estival.

La producción se destina básicamente al abastecimiento del mercado de Buenos Aires en época de invierno y primavera. El nivel tecnológico alcanzado permite obtener producciones de más de 150 tn/ha de tomate en 6 meses de producción, sin calefacción ni fertilización con CO<sub>2</sub>.

Los invernaderos artesanales han cumplido su función de ejercer un forzado y permitieron incorporar tecnología, aunque adolecen de muchas fallas técnicas y de diseño que impiden la obtención de una mayor productividad de los cultivos durante el año. En la zona se realizaron algunas investigaciones sobre el comportamiento de las primeras estructuras artesanales. (Lenscak y col., 1996)

Por ser esta tecnología relativamente nueva, también las investigaciones y las formas de investigar han sufrido cambios (Baeza y col., 2006; Bouzo y Pilatti, 1999; Connelan, 2002; Montero y col., 2001). Por tal motivo, es importante reunir los datos necesarios que permitan analizar la situación actual de los invernaderos en la región, lo que permitiría contar con información real sobre la tipología dominante en cada zona y aspectos de diseño y estructurales que posibiliten mejorar su construcción en el futuro.

### **Objetivo**

El objetivo de este trabajo fue relevar las características estructurales de invernaderos localizados en la provincia de Corrientes con especial énfasis en aspectos dimensionales, funcionales y constructivos.

### **Metodología**

Se realizó un relevamiento de una muestra representativa (aproximadamente el 30%) de las empresas productoras de hortalizas y flores bajo invernadero en la provincia de Corrientes durante el año 2007. Los aspectos de la metodología del relevamiento y los indicadores están explicitados en el anexo metodológico al final del libro.

### **Resultados y discusión**

#### *Descripción de la zona*

La provincia de Corrientes está situada entre los 27° y 30° de latitud sur, y los 55° y 59° de longitud oeste, con una superficie de 88.200 km<sup>2</sup>, de los cuales el 10% está ocupado por agua (lagunas, cañadas, ríos y arroyos).

La provincia se encuentra dentro del régimen isohigro, con valores comprendidos entre 1.100 a 1.500 mm anuales, siendo la zona noreste la de mayor precipitación.

La temperatura media anual está situada entre 19,5° y 22° C, con un descenso térmico hacia el sur de la provincia. La humedad relativa media anual de la provincia oscila entre el 70 y 75 %, siendo los meses de mayo y junio los de mayor porcentaje.

#### *Dimensiones y tipos de invernaderos utilizados*

En el Anexo de Figuras se presentan los tipos de invernaderos más comunes en Corrientes. En estos esquemas se expresan los valores representativos obtenidos para cada tipo, y a modo ilustrativo se ven algunas fotos de los mismos.

El principal tipo es el denominado a Dos Aguas (DA) y la proporción de superficie ocupada en el relevamiento es de un 55%. (Figura 35) Este tipo de invernadero, es conocido por el nombre de "rancho", y es una simplificación de lo que fueron los "tendaleros" de tabaco con que se inició la plasticultura en Corrientes. (Lenscak y col., 1996) Los otros tipos de invernaderos difundidos son los denominados 'A dos aguas con Ventilación Cenital' (VC), conocido en la zona como "chileno", con una superficie del 41% y 'Curvo' (CU), generalmente de estructura metálica con un 3%. (Figuras 36 y 37). Se incluyen en la descripción dos tipos de estructura de escasa relevancia (apenas el 1% del área relevada) que son los denominados a Cuatro Aguas (CA) y Diente de Sierra (DS) (Figuras 38 y 39).

La altura cenital media de los invernaderos en DA, CV y CU es en general bajo para las condiciones climáticas prevalecientes en los meses cálidos. (Tabla 31-Figura 40). El invernadero a Cuatro Aguas sería el único con una altura central importante, pero no es una estructura difundida en la zona, por ser muy costoso su armado. Esta característica de los invernaderos más difundidos refleja situaciones comprometidas del punto

de vista climático debido a la muy escasa altura. Por ejemplo, para los invernaderos DA la altura lateral media es de  $2,0\text{ m} \pm 0,18\text{ m}$  y la cenital de  $3\text{ m} \pm 0,40\text{ m}$ . Esta escasa altura provoca un gran incremento de temperatura a la altura del cultivo (Bouchet y col., 2007) que en ocasiones puede reducirse por la remoción de aire debido a la ventilación natural provocado por efecto dinámico del viento. Sin embargo, la ventaja de la ventilación por efecto dinámico disminuye cuando aumenta el número de invernaderos acoplados lateralmente (Bouchet y col., 2007; Baeza y col., 2006). El 86 % de los invernaderos DA están acoplados lateralmente con más de 5 unidades (Tabla 32) que en este caso puede significar una deficiente ventilación debido a la ausencia de ventanas cenitales. Si bien existe un número importante de acoplamiento, la longitud de los invernaderos no es excesiva, ya que la moda está en los 25 m. En algunos parajes de Santa Lucía y de Mburucuyá, se registraron invernaderos de 50 m con alto grado de acoplamiento (mayor a 10). En estos casos es un factor que complica aún más la disipación de calor mencionada anteriormente.

Dos factores de interés que se suelen analizar con respecto al diseño son la pendiente de techumbre y la orientación, para lograr una mayor captación de la radiación. Estas relaciones son importante para altas latitudes, pero por debajo de los  $30^\circ$  su importancia es relativa. (Bouzo y Pilatti, 1999) La pendiente media general de los techos de los invernaderos DA es de  $28^\circ$  y para el tipo VC de 37%. Estas pendientes permiten maximizar la captación de luz (Bouchet y col., 2003).

En el caso de los invernaderos con ventilación cenital, la orientación es importante de acuerdo a la dirección de los vientos, prefiriéndose cuando éstos son perpendiculares al eje longitudinal del invernadero (Montero, 1999), que en el caso de la región en estudio, la mayor frecuencia de vientos se da en sentidos SE / E, siendo por lo tanto más conveniente la orientación de los invernaderos con ventilación cenital la orientación N-S. En ese sentido, el 80 % de los invernaderos acoplados lateralmente del tipo VC están efectivamente orientados en sentido N-S. Con respecto a la pendiente de la canaleta de desagüe para el caso de los invernaderos acoplados lateralmente, prácticamente no se utiliza inclinación por medio de la construcción sino que se aprovechan las ligeras pendientes que tiene la topografía. Son inferiores al 1% los casos en que se utiliza alguna inclinación a través de la construcción. La pendiente de la canaleta es un factor de diseño importante en climas húmedos (Zabelitz, 1990) principalmente en los meses de mayor pluviometría entre octubre y abril (Figura 43) por lo que éste es un factor de diseño importante a considerar en futuras construcciones.

#### *Análisis de los indicadores calculados*

Con respecto a los indicadores utilizados se observaron algunas diferencias entre invernaderos (Tabla 33). Mediante el indicador 1 que relaciona el número de invernaderos acoplados lateralmente con el largo de cada invernadero, se considera que cuanto mayor resulta esta relación de cero, es posible que se incrementen los problemas de ventilación. Los valores encontrados son muy superiores a los que menciona Bouzo (Capítulo 8) en su evaluación en Córdoba y Santa Fe ( $0,12\text{ m}^{-1}$  y  $0,13\text{ m}^{-1}$  respectivamente, con  $0,35\text{ m}^{-1}$  para Corrientes). Con respecto al tipo, los

invernaderos DA tienen un valor de  $0,3 \text{ m}^{-1}$  lo cual es el más bajo de los 3, seguido del VC y los metálicos CU, con un valor cercano a  $0,5 \text{ m}^{-1}$ , lo cual podría comprometer la ventilación.

El indicador 2 que relaciona la superficie de cobertura con respecto a la superficie de suelo ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) es un estimador indirecto de la pérdida de calor por conducción del invernadero. Aquí el valor general no varía entre los distintos tipos de invernaderos en Corrientes, con valores que oscilan entre  $1,26 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  y  $1,31 \cdot \text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ . El factor de mayor impacto en la modificación de este índice es el número de naves acopladas lateralmente. Entre 1 y 3 invernaderos el porcentaje de disminución de este índice es de casi el 20 %, luego la incorporación de naves adicionales influye de manera marginalmente decreciente a una tasa aproximada de 1 %. (Bouzo y col, 2009). En Corrientes, por estar la mayor parte de invernaderos acoplados entre 5 y 15, los coeficientes de variación para este parámetro resultan bajos, y muy similares entre los tipos.

El indicador 3 que relaciona el volumen total del invernadero con la superficie de suelo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$ ) permite contar con una estimación de la ‘inerzia térmica’ del sistema (Bouchet y col., 2007) es decir, la mayor resistencia a los cambios rápidos de temperatura del sistema. Al igual que el indicador 2, éste no tiene gran variabilidad entre los tipos más comunes. Sí existe un coeficiente muy superior en el invernadero CA. Por esto, la mayor parte de los invernaderos de Corrientes tienen una baja inercia térmica (índices entre  $2.6$  a  $2.8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ )

El indicador 4 que relaciona la superficie de ventana con la superficie de suelo ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) establece una relación directamente proporcional positiva con la tasa de ventilación del invernadero, considerándose que para una eficiente ventilación natural pasiva este valor debe ser, según distintos autores, de 25 % (Zabeltz, 1990), al menos de 25 % (F.A.O., 1990); ó más de 20 % (Montero y col., 2001, Connellan, 2002). El valor promedio del indicador 4 es de 17%, por lo tanto es bajo, considerando los valores de referencia expresados precedentemente. El único tipo que tiene un 20% de ventilación es el VC, que logra una buena renovación de aire en el interior. El bajo índice de ventilación puede deberse a que la altura media del zócalo reduce significativamente la superficie de ventanas laterales. La utilización de este polietileno fijo en las paredes laterales y frontales de los invernaderos tiene por objetivo reducir el efecto dañino del viento sobre el cultivo principalmente durante los primeros estadios luego del transplante y además es un elemento de lucha pasiva contra las bajas temperaturas, ya que permite una mayor estanqueidad durante el cierre de las ventanas laterales, y consecuentemente una menor pérdida de calor por renovación de aire. Aún analizando las ventajas funcionales de este elemento fijo, la excesiva altura disminuye la tasa de ventilación y complica el tránsito de personal durante las operaciones de manejo y cosecha del cultivo.

El indicador 5 que relaciona la superficie con ventanas cenitales y la superficie del suelo aunque no existe precisiones en cuanto al valor que debiera tener esta relación, aproximadamente puede ser concebida entre el 5 al 10 % (Montero, 1999). En los invernaderos de tipo DA y CU carecen de ventilación cenital, mientras que VC tiene un 8%,

lo que estaría dentro de lo adecuado. La importancia de la ventilación cenital se incrementa con la disminución de la velocidad del viento, en estas situaciones la renovación del aire es principalmente por efecto convectivo o de flotación (Bot and van de Braak, 1995). En el área relevada, las velocidades de viento están en el orden de los 4 a 6 km h<sup>-1</sup>, y el porcentaje de días con calma está en el orden del 5%. Estos valores, sin una ventilación cenital, indicarían problemas de renovación de aire dentro de los invernaderos.

#### *Evaluación de los materiales utilizados*

Con respecto a los materiales utilizados para la construcción de los invernaderos, no existe demasiada diferencia en cuanto al material de los postes, ya que solamente un 2% de la superficie tiene postes metálicos, el resto es con madera. En el material utilizado para las cumbreñas, el 97 % es de madera y un 3% es metálico, correspondientes a los invernaderos CU construidos con hierro (Tabla 31).

Los materiales utilizados para la cobertura de los invernaderos son en su totalidad del tipo flexibles y constituidos por polietileno (PE) y con aditivos de Larga Duración y de Termicidad. (LDT) Con respecto al espesor de los materiales utilizados, para el techo predomina el de 100 µm (68%), seguido de 120 µm como de 150 µm, existiendo algunas pequeñas diferencias en cuanto al modelo de invernadero (Tabla 34). Para el caso de las cortinas, el mayor porcentaje corresponde a 150 µm, con un 56% en promedio. Esto se debe principalmente a la mayor duración de este polietileno en continuo movimiento (apertura y cierre).

#### **Conclusiones**

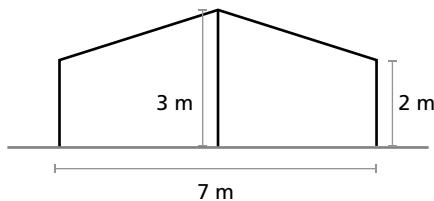
El tipo de estructura para invernadero dominante en la provincia de Corrientes es el denominado "rancho" o "capilla", que genéricamente designamos a Dos Aguas (DA). El segundo tipo más utilizado es el denominado "chileno", que es un invernadero a dos aguas con ventilación cenital (VC). Un tercer tipo en expansión es el metálico de techo curvo (CU)

Por ser una zona subtropical, el invierno es corto y el mayor problema es el exceso de temperatura. La altura de los invernaderos en general es baja lo que incidiría en problemas de ventilación, alta temperatura a nivel de los cultivos y baja inercia térmica que puede traducirse en fuertes fluctuaciones de temperatura durante el día.

La intensidad de la radiación solar puede no representar un factor limitante para la productividad de los cultivos. Aspectos constructivos como la orientación de los invernaderos y las pendientes no son tampoco limitantes a la transmitancia interna

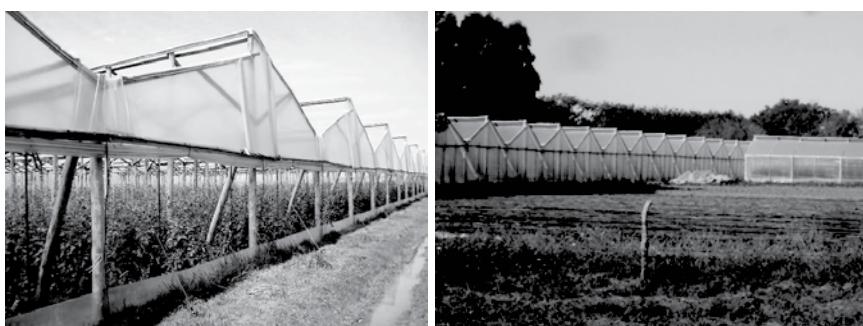
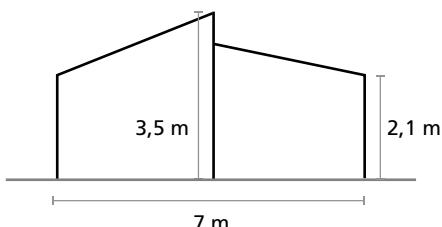
La superficie de ventanas laterales es baja en la mayoría de los casos. Esto puede condicionar la ventilación en los invernaderos DA, y esto en parte puede deberse a la excesiva altura de las paredes laterales fijas (zócalos).

El tipo de material utilizado para la cobertura difiere con el utilizado para las cortinas, teniendo menor micronaje el techo, ya que el hecho de la movilidad de las cortinas, hace necesario material más resistente.

**Anexo de Figuras**

**Figura 35. DA:** Estructura a Dos Aguas.

Nota: Los valores indicativos corresponden al valor de moda.



**Figura 36. VC:** Estructura a dos aguas con Ventilación Cenital

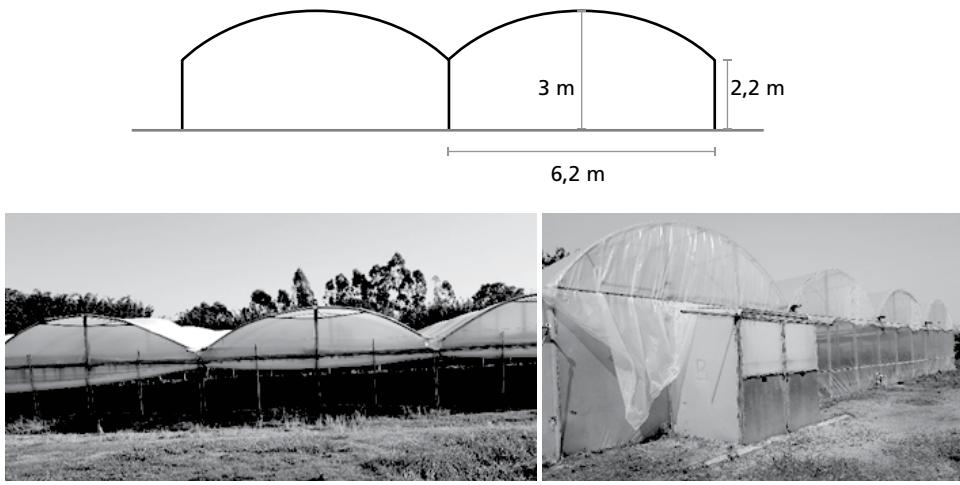


Figura 37. CU: Techo curvo

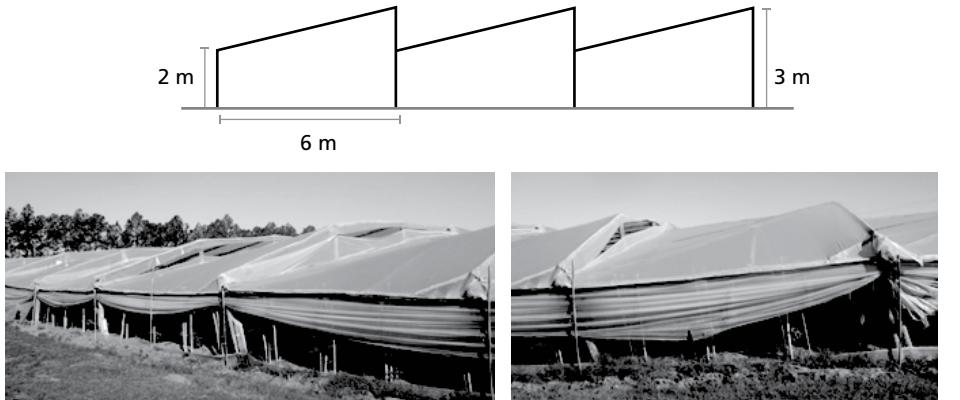


Figura 38. DS: Diente de sierra.

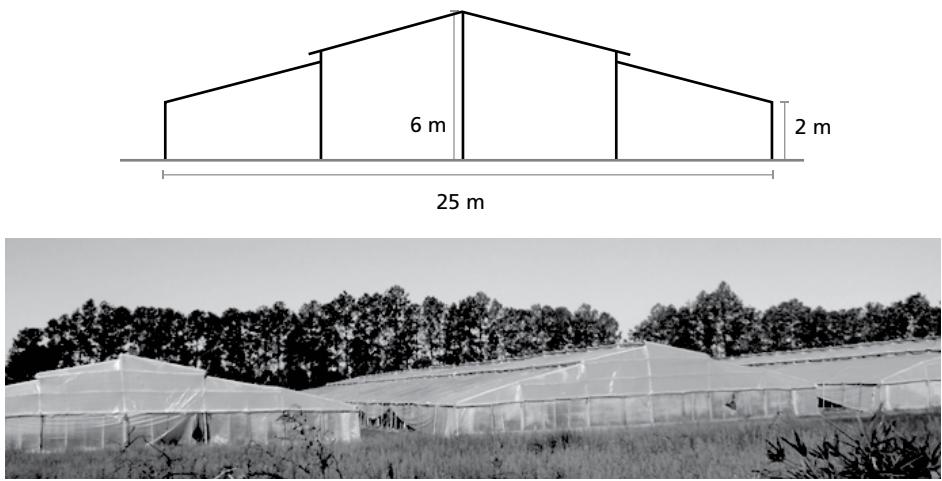
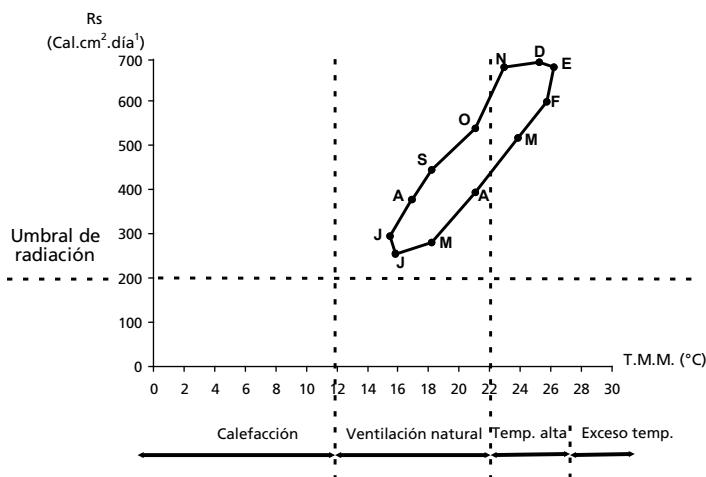
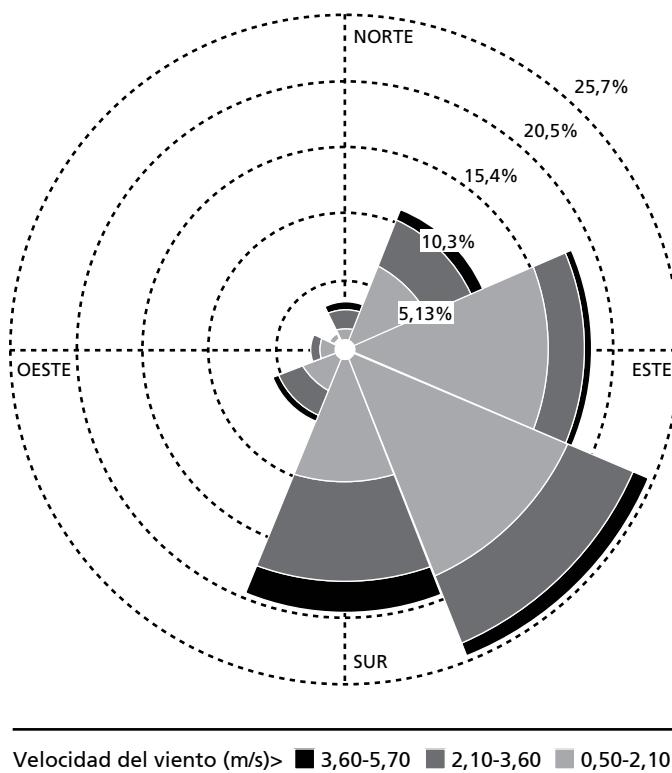


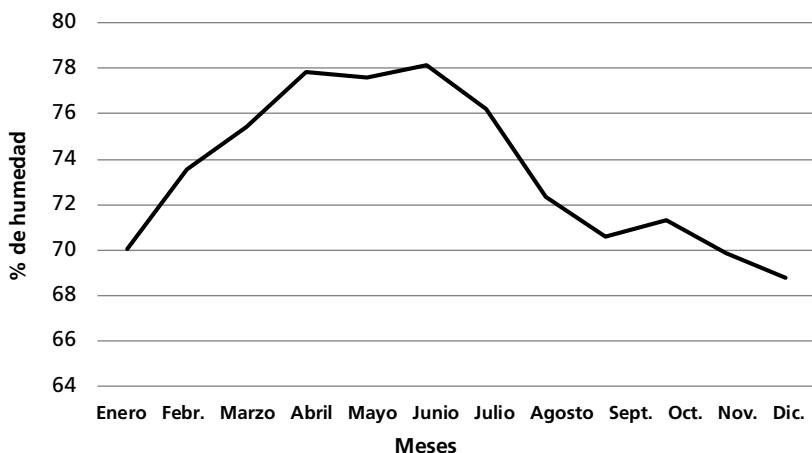
Figura 39. CA: Cuatro Aguas.



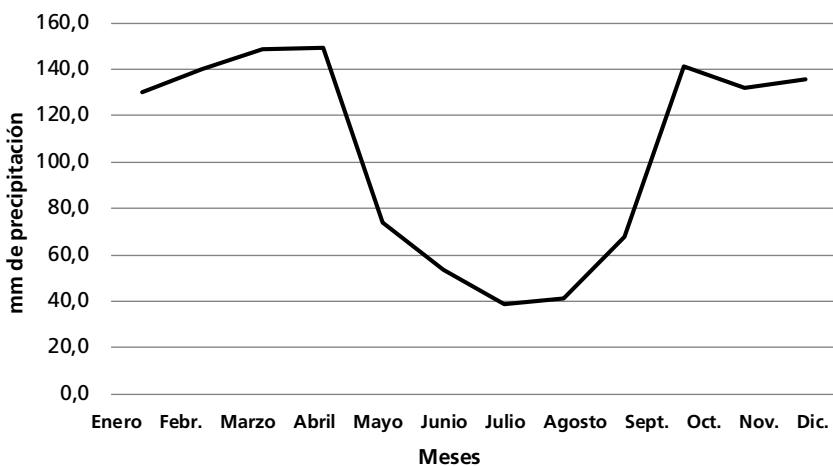
**Figura 40.** Climograma para Bella Vista, Corrientes.



**Figura 41.** Dirección y Velocidad del viento medio horario ( $m s^{-1}$ ) para Bella Vista.



**Figura 42.** Humedad Relativa media mensual (%) para Bella Vista



**Figura 43.** Distribución anual de precipitaciones para Bella Vista.

**Anexo de Tablas****Tabla 31.** Distribución de la superficie y dimensiones características de los principales tipos de invernaderos existentes en Corrientes.

Tipo de invernadero	Superfic.		Altura (m)						Extensión (m)					
			Central			Lateral			Longitud			Ancho		
	(ha)	%	Ma	Me	CV %	Ma	Me	CV %	Ma	Me	CV %	Ma	Me	CV %
DA	192.6	54.7	3	3	8.9	2	2	30.3	25	32.1	35.3	7	7.1	6.5
VC	144.5	41.1	3.5	3.62	11.6	2.2	2.23	8.6	24	27.6	25.9	7	7	7.4
CU	9.7	2.8	3	3	13.8	2	2	7.7	24	31.4	34.2	6.2	6.9	10
DS	2.0	0.6	3	3.4	21.9	2	2.2	18.1	24	24	0	6	6.3	9.1
CA	1.05	0.3	6	6	0	2.2	2.2	0	100	100	0	25	25	0

DA: Dos Aguas; VC: Dos Aguas con Ventilación Cenital; CA: Cuatro Aguas; CU: Curvo (generalmente metálico); DS: Diente de Sierra.

**Tabla 32.** Proporción de la superficie total con invernaderos según el número de unidades acopladas lateralmente, largo (m) y ancho (m) de los mismos.

Nº Inv. Acopl.	DA	VC	CA	CU	Largo	DA		VC		CA		CU		Ancho		DA		VC		CA		CU	
						%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	
1	1	0.02	100	0.3	≤ 24	20	75	0	62	≤ 6	2.3	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
> 1 ≤ 5	12.9	1.5	0	29	> 24 ≤ 30	33.7	11.7	0	9	> 6 ≤ 7	78.2	57.6	0	72									
> 5 ≤ 10	46.4	23	0	14.5	> 30 ≤ 40	1.3	8.6	0	9	> 7 ≤ 9	19.5	40.8	0	28									
> 10 ≤ 15	22.6	33.1	0	9	> 40 ≤ 50	44.7	4.7	0	29	> 9	0	0	100	0									
> 15 ≤ 20	9.8	23	0	4	> 50 ≤ 60	0.3	0	0	0														
> 20	7.3	19.4	0	43.2	> 60	0	0	100	0														

**Tabla 33.** Valores medios y dispersión (CV %) de los indicadores obtenidos para la provincia de Corrientes.

Invernadero	Indicador	Unidad	Media	CV %
General			0.35	66
DA			0.3	63
VC	1	m <sup>-1</sup>	0.47	55
CA			0.01	0
CU			0.52	81
DS			0.85	60
General			1.28	1
DA			1.27	6
VC	2	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1.28	1
CA			1.26	0
CU			1.31	9
DS			1.28	5
General			2.63	15
DA			2.57	11
VC	3	m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup>	2.83	20
CA			4.1	0
CU			2.7	10
DS			2.83	20
General			16.89	62
DA			17.25	60
VC	4	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	20.1	122
CA			9.05	74
CU			16.14	82
DS			18.23	56
General			0.96	198
DA			0	
VC	5	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	8.46	187
CA			7.87	74
CU			10	0
DS			5	78
General			15.93	67
DA			17.25	60
VC	6	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	11.98	85
CA			1.18	74
CU			16.14	82
DS			12.62	51

DA: Dos Aguas; VC: Dos Aguas con Ventilación Cenital; CA: Cuatro Aguas; CU: Curvo (generalmente metálico); DS: Diente de Sierra.

**Tabla 34.** Tipo y duración del Polietileno de Larga Duración Térmico (PE LDT) utilizado en techo y pared en invernaderos.

Tipo de invernadero	Parámetro	Espesor del PE LDT (um)			
		100	120	150	200
Total	Superficie de techo (m <sup>2</sup> )	2429785	602049	427870	95904
	%	68	17	12	3
	Superf. pared (m <sup>2</sup> )	1040096	92393	1465868	686
	%	40	4	56	0
Dos Aguas	Duración (año)	1.88	2.27	2.30	2
	Cambio anual (m <sup>2</sup> )	1846427	306315	821925	48295
	Superficie de techo (m <sup>2</sup> )	1690088	53638	87379	95904
	%	88	3	5	5
Dos Aguas con Ventilación Cenital	Superf. pared (m <sup>2</sup> )	767540		1159283	686
	%	40		60	
	Duración (año)	1.88	2	2.19	2
	Cambio anual (m <sup>2</sup> )	1307249	26819	569252	48295
Cuatro Aguas	Superficie de techo (m <sup>2</sup> )	668735	414177	329991	
	%	47	29	23	
	Superf. pared (m <sup>2</sup> )	208113	30704	238407	
	%	44	6	50	
Curvo	Duración (año)	1.86	2.4	2.55	
	Cambio anual (m <sup>2</sup> )	471424	185367	222901	
	Superficie de techo (m <sup>2</sup> )			10500	
	%			100	
Diente de Sierra	Superf. pared (m <sup>2</sup> )			6290	
	%			100	
	Duración (año)			3	
	Cambio anual (m <sup>2</sup> )			5597	
	Superficie de techo (m <sup>2</sup> )	66012	96938		
	%	41	59		
	Superf. pared (m <sup>2</sup> )	47269	52623	61888	
	%	29	33	38	
	Duración (año)	2	2	2.56	
	Cambio anual (m <sup>2</sup> )	566641	74781	24175	
	Superficie de techo (m <sup>2</sup> )		20496		
	%		100		
	Superf. pared (m <sup>2</sup> )	2299	9066		
	%	20	80		
	Duración (año)	1.91	2.7		
	Cambio anual (m <sup>2</sup> )	1202	10949		

## Región Noroeste

**Caracterización de la Producción Hortícola Bajo Cubierta en las provincias de Salta y Jujuy / V. A. Mollinedo, P. A. Alvarado, M. P. Lenscak**

### ***Introducción***

El área subtropical del Noroeste Argentino (Salta y Jujuy) presenta una temperatura media anual de 21,4 °C. Se caracteriza por tener veranos calurosos (21°C a 35°C) y húmedos (78% HR) e inviernos templados (8,3°C a 24°C), con una baja frecuencia de heladas (de 1,3 en julio), de 3 a 5 hs de duración, temperatura media superior a 13°C y mínima absoluta no inferior a -3°C (Neuman R. 1994). Las precipitaciones se concentran entre los meses de noviembre y mayo, y oscilan entre 800 a 1.300 mm anuales (Figuras 44, 45 y 46). Los suelos poseen un contenido de materia orgánica entre 1 y 3%, y están sujetos a erosión hídrica causada por las elevadas pendientes y las fuertes precipitaciones. La actividad agrícola de la zona está basada en la producción de caña de azúcar, frutas cítricas, hortalizas de primicia, frutas tropicales, y forestales (Figura 47).

La horticultura de la región ocupa una superficie aproximada de 11.500 hectáreas, generando una demanda de mano de obra de más de 5.000 personas por año y engloba a unos 1.500 productores. El valor de la producción ocupa el segundo lugar, después de la caña de azúcar (estimaciones de la EECT Yuto – INTA).

El cultivo de tomate para consumo en fresco es el más importante de la región, con más de 4.000 ha cultivadas de las cuales aproximadamente el 50% se realizan con riego por goteo. Le siguen en superficie zapallito de tronco, pimiento, maíz para choclo, berenjena y chaucha (Figura 48). El cultivo de pimiento, si bien aparece en tercer lugar en cuanto a la superficie ocupada, cuando analizamos los valores de la producción es el segundo en importancia, ya que una importante proporción del mismo se realiza bajo cobertura plástica (con rendimientos altos), lo que se potencia por tratarse de un producto que presenta un precio elevado.

### ***Comercialización***

Entre el 70 y 80% de la producción de la región se comercializa hacia grandes centros consumidores del país, ubicados a más de 1.000 km de distancia: Buenos Aires, Rosario, Mendoza y Córdoba.

En el caso particular del MCBA, es abastecido por la producción de la región subtropical (más Aguas Calientes de Jujuy y Apolinario Saravia de Salta) desde el mes de abril (coincidente con la cola de producción de Mendoza y Buenos Aires), hasta el mes de noviembre en que ya son importantes los volúmenes que llegan desde Corrientes y comienza nuevamente Buenos Aires.

La importancia relativa de la zona en este mercado (Tabla 35) es muy alta principalmente en los meses de junio, julio y agosto, en los que representan más del 70% del tomate ingresado mensualmente.

La participación en el mes anterior y posterior a dicho período es de alrededor del 50%; y la competencia se encuentra concentrada en mayo, por la producción proveniente de Buenos Aires que aporta un 30%; mientras que en septiembre la mayor competencia proviene de Corrientes, que contribuye con algo más del 40% del total ingresado al MCBA.

Respecto a la oferta de la región, en los meses de abril, mayo y junio prevalece la producción jujeña, mientras que en agosto, septiembre y octubre es más importante el volumen procedente de Salta.

Cabe destacar que según datos del MCBA promedio para el período 1998-2005, los meses de mayo, junio y julio son los de menor ingreso de tomate.

#### *Antecedentes sobre relevamiento de estructuras de invernaderos*

En el año 1995 se realizó un relevamiento de los cultivos protegidos en el área de influencia de la Estación Experimental de Cultivos Tropicales Yuto – INTA (localidades de Fraile Pintado, en Jujuy; y Colonia Santa Rosa, Pichanal, Embarcación, Orán y Peña Colorada en Salta), el que permitió detectar una superficie total de invernaderos de 405 ha, y casi la totalidad de las estructuras presentes eran de tipo parral modificado.

A principios de 2007 se repitió dicho relevamiento en las mismas localidades, con el objetivo de describir las características estructurales de los invernaderos presentes en la región, con especial énfasis en aspectos dimensionales, funcionales y constructivos, para ir estableciendo propuestas mejoradoras a las estructuras existentes.

#### **Materiales y métodos**

Se realizó el censo en la totalidad de las zonas productoras de hortalizas bajo invernadero, en las localidades de Fraile Pintado (Jujuy) y Colonia Santa Rosa, Pichanal, Embarcación, Peña Colorada y Orán (Salta) durante el año 2007. Al igual que en las otras regiones del país, el trabajo se realizó mediante el censado in-situ con una planilla ad-hoc en donde se registraron los datos de la explotación y el detalle de los invernaderos en producción. Además, se elaboraron los siguientes indicadores para evaluar la funcionalidad de los invernaderos: 1) Número de Invernaderos acoplados lateralmente / longitud de cada invernadero; 2) superficie de cubierta plástica /superficie de suelo; 3) volumen total del invernadero / superficie de suelo; 4) superficie de ventana / superficie de suelo; 5) superficie de ventana cenital / superficie de suelo. 6) Superficie de ventana lateral / superficie de suelo.

Una descripción detallada de los indicadores están explicitados en el anexo metodológico al final del libro.

#### **Resultados y discusión**

El análisis de los datos recopilados en el censo arrojó una superficie total de 420 ha (Figura 49), lo que muestra que no hubo un crecimiento significativo de la superficie cubierta en esta región, con respecto al censo realizado en 1995.

Sin embargo, profundizando el análisis vemos que, desde lo cualitativo, si hubieron cambios significativos. Uno de ellos se refiere a la distribución porcentual de los cultivos bajo invernadero (Figura 50), respecto de lo cual observamos que el pimiento actualmente ocupa casi un 59% de dicha superficie, a diferencia del relevamiento del año 1995, donde este valor era un 75% del total. Esta disminución fue compensada principalmente por un aumento del cultivo de tomate bajo cubierta.

#### *Tipos de invernaderos utilizados en el NOA*

Otra diferencia identificada en el nuevo relevamiento se refiere a los tipos de estructuras (Tabla 36-Figura 51) de los nuevos invernaderos que se construyen en la zona. Se observa que las nuevas construcciones responden básicamente a dos tipos principales; por un lado los de **tipo capilla** (CA) (Figura 52), que ya representan el 20% del total el **tipo parral** (PA) que sigue siendo la estructura con mayor preponderancia ya que representa un 73% de la superficie. En este tipo de construcción se observó un cambio hacia lo que se denomina invernaderos de **tipo parral modificado** (Figura 53), que presentan una mayor altura que los anteriores: 2,50 m en los laterales y 6,50 m en la cumbre, respecto a 1,80 m en los laterales y 4,50 m en la cumbre de las viejas estructuras. Estas modificaciones están asociadas al aumento porcentual del cultivo de tomate en invernaderos, ya que éste necesita mayor ventilación que el pimiento -debido al volumen foliar desarrollado por el cultivo- y las nuevas estructuras tienen esta característica; por dicho motivo, los antiguos invernaderos de tipo parral se destinan casi exclusivamente al cultivo de pimiento. Otras estructuras presentes, en menores porcentajes (Tabla 36) son las de Techo Plano (PA), Techo Curvo (CU) y en menor medida invernaderos Richel (RI).

Respecto a la localización de los invernaderos, se observa una redistribución geográfica hacia localidades de la provincia de Salta. El relevamiento del año 1995 mostraba invernaderos en la región subtropical de la provincia de Jujuy ubicados en Palma Sola, Yuto, Santa Clara y Fraile Pintado; mientras que en el 2007 sólo quedan unos pocos en esta última localidad, los que además representan apenas el 1% del total (Figura 49). Estas modificaciones están, en cierta forma, asociadas a la tipología del productor de invernadero, ya que muchos pequeños productores dejaron de utilizar esta tecnología (esto explica lo que ocurrió en Jujuy), mientras que algunos productores medianos o grandes (ubicados en Salta) aumentaron dicha superficie. Una consecuencia inmediata de esto es la concentración de la superficie de invernaderos en pocos productores medianos o grandes (Figura 54), ya que el 50% de la superficie está en manos de 7 productores que representan el 20% del total; mientras que el 60% de los productores (21 de ellos) tienen sólo el 20 % de la superficie.

Finalmente, podemos agregar que donde sí se observó un aumento importante de los cultivos en invernaderos es en la zona de Apolinario Saravia (Salta), que si bien no corresponde a la región subtropical, es una zona de importancia hortícola y se encuentra apenas a 150 km de distancia de la localidad de Pichanal. Aquí se esti-

ma una superficie aproximada de 350 ha bajo cubierta plástica (entre invernaderos y estructuras tipo tapaderas), siendo el cultivo más importante el tomate.

#### *Análisis de los indicadores calculados*

En la tabla 37 podemos observar los valores medios de los diferentes indicadores y se han tomado como referencia los 3 modelos más representativos (Parral, Capilla y Techo Plano).

En cuanto al indicador 1 que relaciona el número de invernaderos acoplados lateralmente con el largo de cada invernadero, se considera que cuanto mayor resulta esta relación de cero, es posible que se incrementen los problemas de ventilación, encontrándose valores muy bajos sobre todo en los de tipo parral, ya que se considera una sola estructura sin módulos, con anchos cuyo valor modal es de 30 metros. Los coeficientes de variación son también muy elevados, lo cual nos hace pensar que este indicador, tal como está planteado no es el más apropiado para este tipo de invernadero. En cuanto al tipo capilla, el valor es mucho más real y se podría decir que adecuado ya que es bajo, similar a los presentados para la región central.

En el indicador 2 que relaciona la superficie de cobertura con respecto a la superficie de suelo ( $m^2 \cdot m^{-2}$ ), se puede observar que no existen diferencias entre los distintos tipos de invernaderos y los coeficientes de variación resultan sumamente bajos, lo cual está reflejando que los invernaderos son relativamente grandes y con formas cercanas a un cuadrado, esto es que las medidas del ancho de los invernaderos son similares al largo.

El indicador 3 es uno de los más altos del país, teniendo como promedio un valor de  $4.41 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ . Ésta relación del volumen total del invernadero con la superficie de suelo, permite tener una estimación de la inercia térmica del sistema, con lo cual se desprende que existe una gran resistencia a los cambios de temperatura dentro de estos invernaderos, sobre todo en los de techo plano que llegan casi a valores cercanos a  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ .

En el indicador 4 (Superficie total de ventanas con respecto a la superficie de suelo), diversos autores señalan que debe ser mayor al 20% (Montero y col., 2001, Connellan, 2002), inclusive algunos superiores (Zabelitz, 1990; F.A.O., 1990), observándose que para el NOA, los valores son inferiores al 20 %, siendo los de Techo Plano de 4.35 %. Esto nos indica que si bien tienen una buena inercia térmica, tienen una baja renovación de aire lo cual puede ser un problema en épocas de alta temperatura. Los invernaderos tipo capilla tienen un mayor porcentaje de ventilación con respecto a los de tipo parral, debido a que poseen ventilación cenital, siendo escasa en éste último tipo, tal como se describe con los indicadores 5 y 6 donde se desglosa la ventilación cenital y la lateral para obtener el dato de ventilación total.

En cuanto a la ventilación cenital, los invernaderos tipo CA son los que estarían dentro de proporciones aceptables en cuanto a lo citado por Montero (1999), con un valor del 6%. En el tipo PA la ventilación cenital es muy baja (1%) y el TP directa-

mente no posee. Las velocidades del viento en la zona nos indican variaciones entre 9 y 12 km/h, siendo los mayores valores en épocas cálidas, lo cual permite una buena renovación de aire en aquellos invernaderos con ventilación cenital (Tipo CA). Para el caso de los invernaderos tipo PA, el indicador 6 muestra que la mayor parte de la ventilación corresponde a los frentes y laterales, por tener mayor altura, y con las velocidades de viento señaladas estarían en una buena ventilación sin llegar a los óptimos. Los invernaderos TP tienen problemas de ventilación con los valores aportados.

En la tabla 38 se muestran, a partir de los datos totales, los porcentajes de superficie en rangos de ventilaciones. Se puede apreciar que un 34% de la superficie posee una ventilación deficiente por encontrarse debajo del 10% de ventilación, mientras que un 22% está en un rango óptimo, con un porcentaje de ventilación superior al 20%. El resto de invernaderos, un 44%, está con valores que podríamos decir aceptables, con valores que oscilan entre los 10 al 20%.

#### *Evaluación de los materiales utilizados*

En la tabla 39 se puede apreciar que los invernaderos CA están construidos casi totalmente de madera, mientras que los PA utilizan la madera para los postes y alambre para las cumberras. En estos dos tipos de estructuras es bajo el porcentaje de utilización de otros materiales para la construcción. En los invernaderos TP se utiliza tanto la madera como el caño galvanizado para los postes, y para las cumberras el 100% es de alambre. Los otros tipos de invernaderos (Con techo curvo y Richel), la construcción se realiza íntegramente con caños galvanizados.

Los materiales utilizados para la cobertura de los invernaderos son en su totalidad del tipo flexible y constituido por polietileno (PE) y con aditivos de Larga Duración (Anti UV) y Térmico (LDT). Con respecto al espesor de los materiales utilizados, para el techo predomina el de 150 µm (76%), seguido de 100 µm (14%) (Tabla 40). Para el caso de las cortinas, el mayor porcentaje corresponde a 100 µm, con un 50% en promedio.

#### *Conclusiones*

En la zona en estudio, el tipo de estructura para invernadero dominante es el denominado “parral modificado” o “Naves”, que genéricamente designamos Parral (PA). El segundo tipo más utilizado es el denominado “Capilla” y en algunos casos “Chingolo”, que denominamos Capilla (CA). Los otros tipos de invernaderos encontrados no son tan representativos en la zona.

La zona de producción bajo invernadero está aproximadamente en el trópico de Capricornio, por lo cual el invierno es muy corto y benigno y el mayor problema es el exceso de temperatura. La altura de los invernaderos en general es alta, sobre todo los de tipo parral, lo que garantiza una buena inercia térmica, que contrarrestaría en parte el bajo porcentaje de ventilación de algunos invernaderos.

La superficie de ventanas laterales es baja en los invernaderos CA y mayor en los PA. Lo contrario ocurre con la ventilación cenital. La ventilación total en poco por-

centaje es el considerado óptimo, lo cual puede condicionar la ventilación en ambos tipos de invernaderos.

Las estructuras tipo CA son básicamente de madera y las PA son en su mayoría de postes de madera y estructura de alambre en las cumbreas.

El tipo de material utilizado para la cobertura es PELDT mayormente de 150 µm y en los laterales de 100 µm.

#### Anexo de Tablas

**Tabla 35.** Participación porcentual de la producción de Jujuy y Salta sobre el total de tomate ingresado mensualmente al MCBA.

Provincia	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Jujuy	11,6	33,7	45,7	41,8	23,1	17,5	11,7	8,8
Salta	2,5	14,1	26,3	37,6	48,5	38,7	31,3	10,9
Total	14,1	47,8	72,0	79,4	71,6	56,2	43,0	19,7

Fuente: elaboración propia a partir de boletín electrónico de tomate N° 1; datos del año 2005.

**Tabla 36.** Distribución porcentual por tipo de invernadero

	Tipo	Nº Invernaderos	% de inv.	Superficie (ha)	% de superficie
Parral	PR	514	79,2	309,42	72,7
Capilla	CA	113	17,4	89,26	21,0
Techo Plano	TP	4	0,6	21,09	4,9
Techo Curvo	CU	15	2,3	4,74	1,1
Richel	RI	3	0,5	1,11	0,3
Total		649	100	425,62	100

**Tabla 37.** Valores medios y dispersión (CV %) de los indicadores obtenidos para las provincias de Salta y Jujuy.

Invernadero	Indicador	Unidad	Media	CV %
General			0.03	197
CA	1	m <sup>-1</sup>	0.13	89
PA			0.01	150
TP			0.01	34
General			1.09	7
CA	2	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1.08	4
PA			1.09	8
TP			1.08	3

## INVERNADEROS

General			4.41	30
CA			4.28	20
PA	3	$m^3 m^{-2}$	4.34	31
TP			5.94	39
General			16.79	45
CA			18.37	52
PA	4	$m^2 m^{-2}$	16.55	35
TP			4.35	26
General			2.00	158
CA			6.10	86
PA	5	$m^2 m^{-2}$	1.04	93
TP			0	-
General			14.79	43
CA			12.27	52
PA	6	$m^2 m^{-2}$	15.51	34
TP			4.35	26

CA: Tipo Capilla. PA: Parral. TP: Techo plano.

**Tabla 38.** Relación entre la superficie de ventanas / superficie de suelo

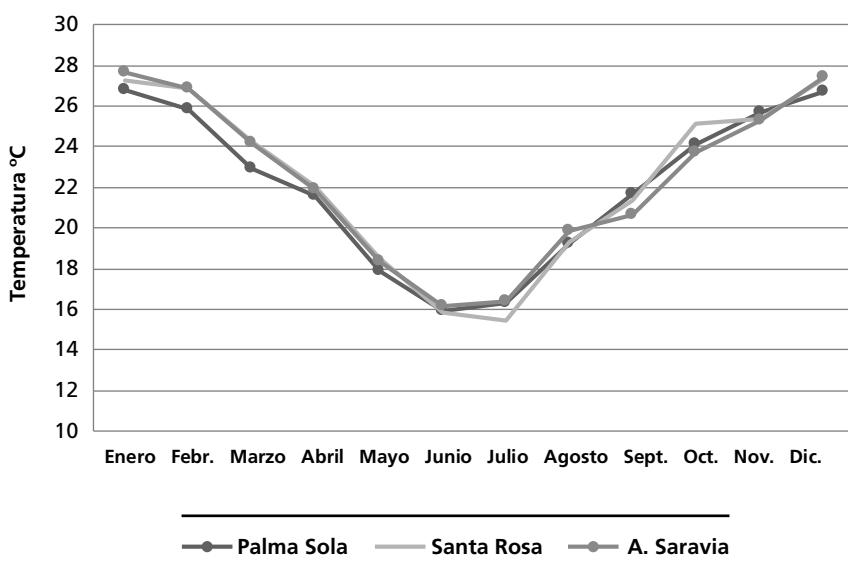
Rangos	Superficie	%	Nº Inv.	%
< 10%	144,16	34	92	14
10 a 15%	107,54	25	163	25
15 a 20%	79,75	19	165	26
20 a 25%	83,19	19	168	26
> 25%	10,99	3	61	9
Total	425,62	100	649	100

**Tabla 39.** Materiales utilizados en la construcción de las estructuras

	Postes				Cumbreiras			
	Madera	%	Caño Galvanizado	%	Madera	%	Caño Galvanizado	%
CA	89,26	100	0	74,22	83			15,04 17
PA	270,20	87	39,22	13	3,50	1		305,92 99
TP	5,99	28	15,10	72				21,09 100
Otros			5,85	100			5,85	100
Total	365,45	86	60,17	14	77,72	18	5,85	1 342,05 80

**Tabla 40.** Materiales utilizados en la cobertura y laterales de los invernaderos

Parámetro	Espesor del PE LDT (um)					
	50	100	120	150	200	300
Superficie de techo (m <sup>2</sup> )	0	598900	22400	3232500	11080	391400
%	0	14	0,5	76	0,3	9,2
Superf. pared (m <sup>2</sup> )	183135	994515	0	761283,178	3341	66068
%	9,1	49,5	0	37,9	0,2	3,3
Duración (año)	s/d	2,05	2	2,09	3,5	2,25
Cambio anual (m <sup>2</sup> )		777275,84	11200,00	1910901,04	4120,29	203319,11

**Anexo Figuras****Figura 44.** Temperaturas medias mensuales.

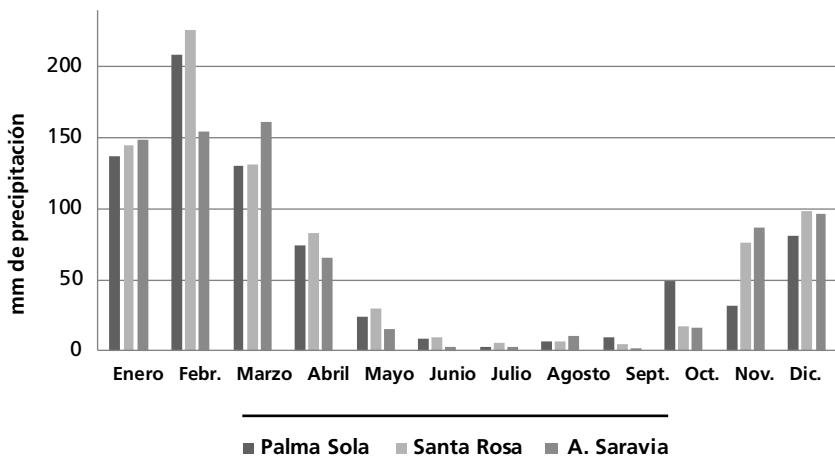


Figura 45. Distribución de precipitaciones en las zonas productoras bajo cubierta.

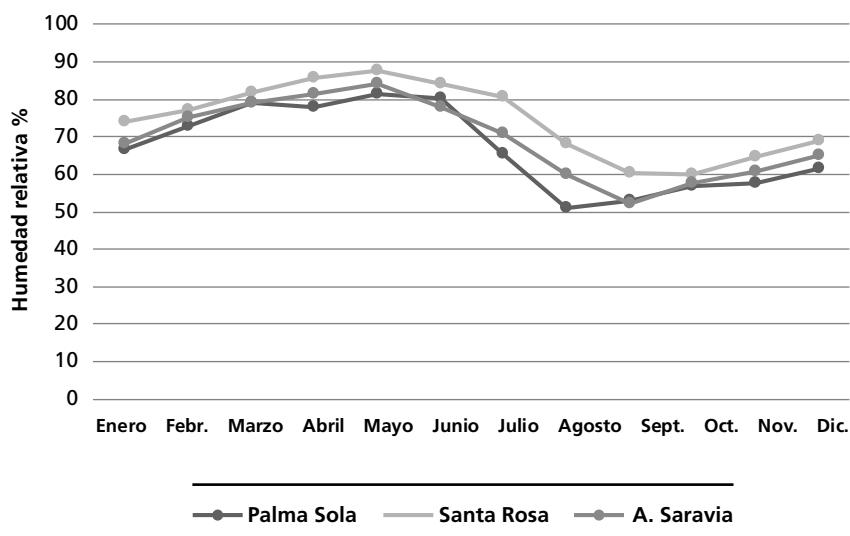
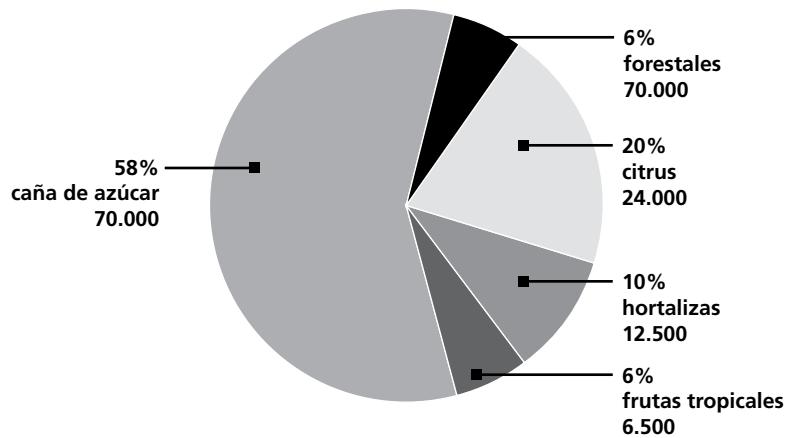
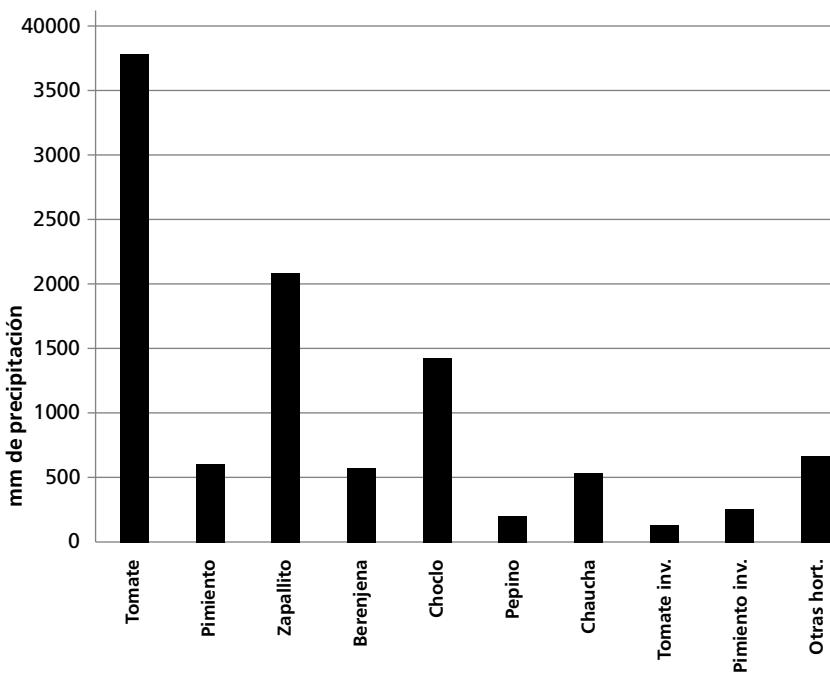


Figura 46. Humedad relativa.



**Figura 47.** Distribución de la producción en el área subtropical NOA.



**Figura 48.** Superficies cultivadas de hortalizas.

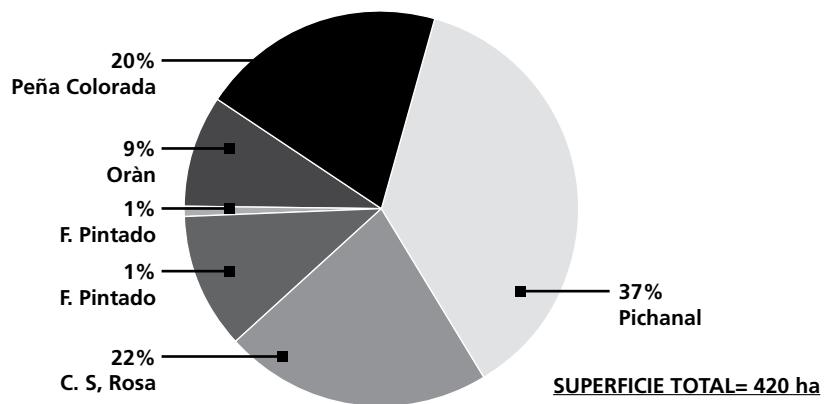


Figura 49. Distribución porcentual de invernaderos en la zona de primicia del NOA.

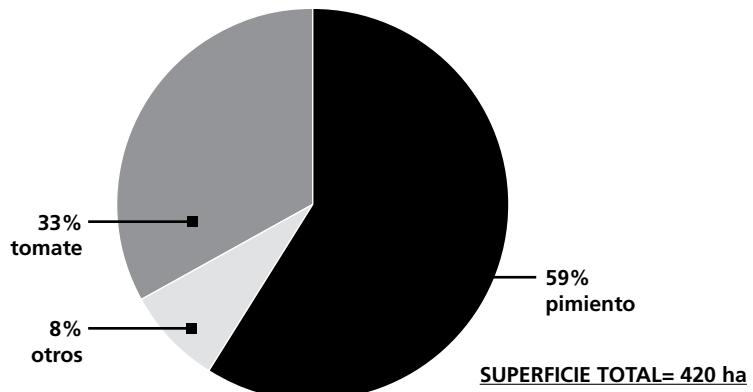


Figura 50. Distribución porcentual de cultivos bajo invernaderos en el área de influencia de la EECT Yuto.

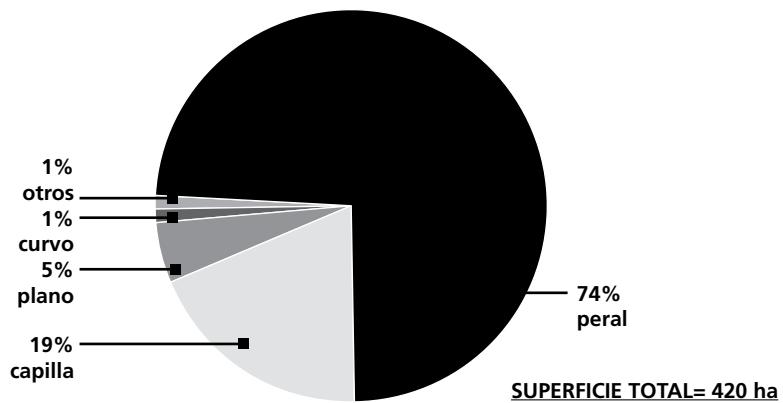


Figura 51. Distribución porcentual del tipo de estructuras.

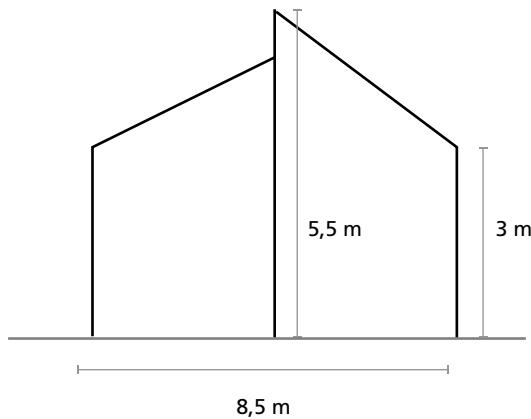
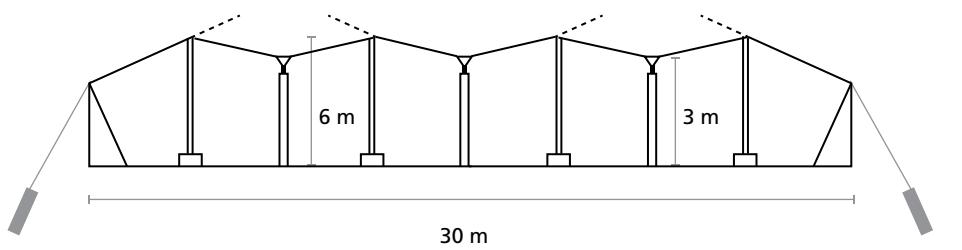
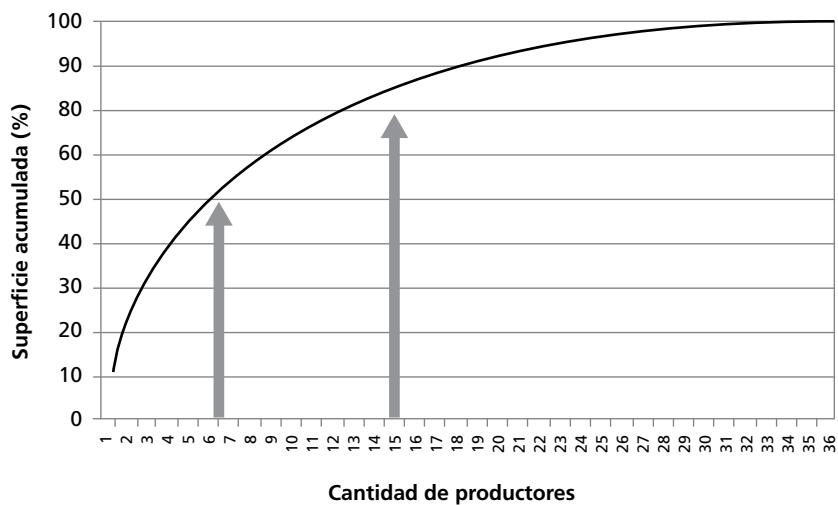


Figura 52. CA: Estructura tipo capilla.

Nota: los valores indicativos corresponden al valor de moda.



**Figura 53. PA:** Estructura tipo parral.



**Figura 54.** Superficie acumulada de invernaderos en función del número de productores.

#### Situación de los cultivos protegidos y diseño de invernaderos en la provincia de Mendoza / Ernesto L. Gabriel

##### *Introducción*

La provincia de Mendoza ocupa el segundo lugar como productora de hortalizas a nivel nacional, siendo una de las principales abastecedoras con hortalizas pesadas en el Mercado Central de Buenos Aires. En la temporada 2007–2008 la superficie ocupada con hortalizas en la provincia fue de 42.600 ha (IDR, 2008. Instituto de Desarrollo Rural de Mendoza). Sin embargo, los cultivos bajo cubierta han tenido exiguo desarrollo, significando un escaso porcentaje del total de la superficie cultivada.

La historia y evolución de los cultivos protegidos bajo invernaderos en Mendoza es difícil de conocer debido a la escasa disponibilidad de datos, oficiales o privados, al respecto. Del inicio de los cultivos protegidos y su desarrollo durante las primeras décadas sólo se dispone de estimaciones (que pueden considerarse fidedignas) efectuadas por algunas instituciones oficiales. Los cultivos comerciales bajo cubierta más antiguos de los que se tienen referencias, se remontan a principios de los años '60. Se trataba de invernaderos de escasa superficie, con estructuras metálicas, coberturas de vidrio con rudimentarios sistemas de calefacción. Se localizaban en zonas peri-urbanas para la protección de cultivos de flores, especialmente rosales. Los invernaderos con coberturas plásticas se iniciaron a fines de la década de los '60, también para la protección de cultivos de flores en las inmediaciones de los centros poblados, pero siempre en unidades de escasa superficie (Gabriel, E. L. 1997). Eran invernaderos desarrollados a partir de estructuras locales para la producción de vid (parrales), o modelos copiados de otras regiones. Las estructuras eran de madera y alambre, cubiertas con láminas de polietileno, cuyo diseño condicionaba los rendimientos de los cultivos, por carecer de un adecuado control climático, limitado por el diseño de las estructuras (de baja altura, escasas aberturas y cierres defectuosos). Los principales problemas que presentaban eran las escasas posibilidades de control de la temperatura y los daños derivados de agentes climáticos como el viento zonda y el granizo.

La provincia de Mendoza no ha sido ajena al incremento de la producción hortícola argentina, que a partir de los '80 creció en forma constante, principalmente por la utilización de nuevas tecnologías. El proceso de cambio en la horticultura y su crecimiento cuali- y cuantitativo se caracterizó por la incorporación de nuevas tecnologías y un consecuente incremento en el uso culturales híbridos, agroquímicos y sistemas intensivos de producción (plasticultura), en los que se incluyen los cultivos bajo cubierta (Secretaría de Agricultura, 1994).

Debido a los bajos ingresos generados por la horticultura tradicional mendocina, se buscaron alternativas de producción que permitieran mejorar la rentabilidad y, con ese afán, se trató de imitar sistemas de producción de otras zonas productoras que evidentemente tenían éxito económico. Las elevadas producciones con alto valor comercial obtenidas en cultivos hortícolas bajo cubierta en zonas tradicionalmente productoras de primicias (NOA, NEA), indujeron a tratar de reproducir ese fenómeno en la provincia. Los márgenes brutos calculados para los cultivos hortícolas bajo cubierta en Mendoza resultaban relativamente altos, con tasas internas de retorno notoriamente mayores a las de los cultivos a campo (Pizzi, D., 1992). Estas referencias llevaron a pretender reproducir la resultante económica, sin tener en cuenta las condiciones climáticas que permitían la utilización de tecnologías de producción forzada, con una alta rentabilidad económica en otras regiones.

Para mediados de la década de los '90, se estimaba que en Mendoza la superficie de cultivos bajo cubierta era de unas 45,5 ha, ubicadas casi exclusivamente en el oasis Norte de la provincia. La mayor parte, unas 35 ha, se destinaba a la producción de flores, las que eran comercializadas localmente y en provincias vecinas. Para la protección de cultivos hortícolas se estimaban unas 9 ha de invernaderos, implantadas en su mayor parte durante el primer quinquenio de los '90, cuya producción se comercializaba principalmente en los mercados locales. Los viveros, para producción de plantines (de hortalizas y flores, y en menor medida para plantas de vid, olivos y algunos frutales), cubrían unos 15.000 m<sup>2</sup>, principalmente con estructuras metálicas tipo túnel alto. Los túneles bajos, usados principalmente para protección de almácigueras (de tomate y pimiento) y en menor escala para la semiforzadura (durante las primeras etapas del cultivo) de hortalizas primicia, sumaban unas 30 ha. El uso de semiforzaduras, con cobertura plástica de suelo (acolchado o "mulch" plástico), se comenzó a difundir a partir de fines de la década de los '80, especialmente para promover precocidad en cultivos de melón y sandía. La superficie con cultivos sobre cubierta plástica de suelo se incrementó notablemente a mediados de los '90. En Mendoza, la superficie cubierta con acolchado plástico en 1995 se estimaba en unas 40 ha, principalmente para cultivo de melón (Gabriel, E. L., 1997).

Los primeros datos disponibles de relevamientos censales sobre invernaderos son del año 2000 (IDR, 2000) y 2004 (Baroni y col., 2004), para cultivos bajo cubierta de flores y los correspondientes al Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2002), que incluye todos los cultivos protegidos (flores, hortalizas y viveros) y que abarca toda la provincia de Mendoza.

En el año 2000, según datos del Instituto de Desarrollo Rural de Mendoza (IDR, 2000), habían 35,48 ha de cultivos de flores bajo cubierta en toda la provincia, concentrados en el Oasis Norte (97 %), y sólo un 3 % en el Oasis Sur. (No se hace referencia a cultivos de hortalizas ni viveros bajo cubierta.)

Según el Censo Nacional Agropecuario 2002 (INDEC, 2002), en Mendoza existían 78,97 ha bajo cubierta. El sector viveros era el que presentó mayor superficie bajo cubierta, con 42,46 ha (59,7 % en el Oasis Norte, 23,78 % en el oasis medio –Valle

de Uco y el 16,50 % en el Oasis Sur). Los cultivos de flores bajo cubierta presentaban una superficie de 21,97 ha (94,35 % en el oasis Norte, y 5,65 % en el oasis Sur). La superficie con hortalizas bajo cubierta era de 14,37 ha (58,53 % en el oasis Norte, 36,38 % en el oasis Sur y 5,09 % en el Valle de Uco). Los cultivos de aromáticas bajo cubierta ocupaban 1.680 m<sup>2</sup>.

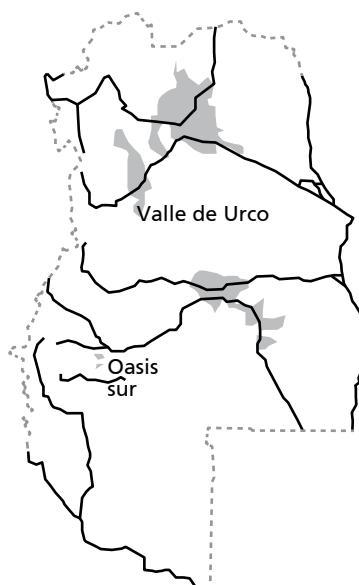
En 2004, el Censo Provincial de Productores de Flores de Corte indica que existían 32,86 hectáreas dedicadas a la producción de flores de corte en invernadero, concentrándose el 97 % en el oasis Norte y el resto en el oasis Sur de Mendoza (Baroni y col., 2004).

#### ***Características climáticas de los oasis de Mendoza***

La Provincia de Mendoza se ubica en el Centro Oeste de la República Argentina, entre los paralelos 32° y 37°35' de latitud Sur y los 66°30'y 70°35' de longitud Oeste. La mayor parte de la población y las actividades productivas se concentran principalmente en los oasis (que ocupan un 3 % de la superficie de la provincia), de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior en el Norte, Tunuyán superior (Valle de Uco –oasis medio), y de los ríos Diamante y Atuel en el Sur (Figura 55).

El clima es continental, árido a semiárido, con heladas en invierno y máximas de hasta 35° C en verano. Fenómenos climáticos como las sequías, las heladas, el granizo y el viento Zonda, son condicionantes climáticos al desarrollo productivo (CRICYT, 2000).

Las precipitaciones se producen principalmente en primavera y verano y varían, según el oasis, entre 230 y 370 mm anuales. La humedad relativa del aire, promedio anual,



**Figura 55.** Principales Oasis productivos de Mendoza.

Fuente: Ecoatlas - IDR.

varía entre el 47% y 61%. El recurso hídrico para el riego proviene de los deshielos de la Cordillera de los Andes, que alimentan los principales ríos de la provincia y se distribuye por canales de riego en los principales oasis productivos (Baroni y col., 2004).

El clima es el factor que en mayor medida define la potencialidad de una región, desde el punto de vista económico, para realizar cultivos “fuera de estación” de especies de clima templado mediante el uso de técnicas especiales. En Mendoza, de Norte a Sur se produce una disminución en los valores de la temperatura, el largo del período libre de heladas y de la radiación global, y un aumento en la nubosidad y las precipitaciones, con incremento del riesgo de daños por heladas y granizo (Ver Anexo A: Características climáticas de los oasis productivos de Mendoza).

El granizo es una adversidad climática muy importante en la provincia de Mendoza, que ocurre con mayor intensidad en primavera y verano. Afeta, en mayor o menor grado, a todos los oasis productivos, causando graves daños o la pérdida total de la producción. Con la finalidad de reducir el daño económico por causa de este fenómeno climático, en 1998 la lucha antigranizo es considerada una actividad prioritaria de la provincia, implementándose en todos los oasis. El actual “Programa de Mitigación de Daño por Granizo” abarca cuatro aspectos: un seguro agrícola; la lucha activa (mediante la siembra de núcleos de congelación en nubes, para reducir el tamaño del granizo); la utilización de malla antigranizo y la investigación e información científica. Para la lucha activa, se utiliza una metodología que incluye la información generada por una red de radares de tierra que permite pronosticar el movimiento de las tormentas y predecir su posición, además de estimar la severidad e indicar si estas son portadoras de granizo; también da una idea del lugar, dentro de la tormenta, donde puede encontrarse el granizo. En base a esta información se procede a la disseminación de núcleos de congelación mediante la utilización de emisores instalados a nivel de suelo, en la zona de génesis de tormentas, y de aviones que siembran núcleos de congelación en las nubes graniceras. (De la Torre y Cavagnaro, 2016).

Para proteger los invernaderos, en particular, se utilizan mallas antigranizo que se colocan sobre las estructuras (Anexo II: Foto 32).

Otro fenómeno meteorológico extremo que afecta a la economía provincial es el “viento Zonda”. Sopla predominantemente desde el noroeste, normalmente entre agosto y noviembre. Se origina en el Océano Pacífico y, después de atravesar la cordillera de Los Andes, la masa de aire (originariamente húmeda) se transforma en un viento cálido y seco, bajando la humedad relativa del aire a valores de hasta el 10 % o menos. Los vientos con velocidades extremas, que llegan a superar los 100 km/hora, se muestran en el Anexo I (Tablas 54 y 55).

Los daños a los invernaderos por este fenómeno pueden mitigarse incluyendo en el cálculo de las estructuras las cargas adicionales causadas por el viento. A su vez, las estructuras deben tener un anclaje lo suficientemente fuerte para que no sean levantadas y, durante los vientos intensos, deben encontrarse totalmente cerradas. La orientación debe ofrecer la menor superficie a la dirección de los vientos más fuertes

y debe también considerarse la utilización de cortinas cortaviento, naturales o mallas, ubicadas de forma tal que su sombra no alcance a las estructuras (Anexo II, Foto 30).

Las posibilidades climáticas de los tres principales oasis de Mendoza, para el cultivo en invernaderos fríos de especies de clima templado, se pueden estimar en los climogramas de cada zona (relación entre la radiación solar global y las temperaturas medias mensuales del aire), que muestran los meses en los cuales resultaría necesario calefaccionar o refrigerar mediante forzado a las estructuras, para mantener la temperatura en rangos adecuados para los cultivos (Anexo I, Figuras: 59, 63 y 66). Las condiciones climáticas más favorables para los cultivos forzados, en cuanto a radiación y temperatura, las presenta el oasis Norte; las menos ventajosas son las del Valle de Uco. El Departamento de San Rafael, en el oasis Sur presenta el mayor riesgo de granizo (Anexo I, Tabla 56).

### ***Objetivo***

El objetivo de este trabajo fue relevar la situación de la producción de cultivos forzados en la provincia de Mendoza en 2007-2008, considerando aspectos estructurales y de control climático de los invernaderos.

### ***Metodología***

Se efectuó un relevamiento censal de los invernaderos con cultivos de flores, hortalizas y viveros en los tres principales oasis productivos de la provincia, durante 2007 y el primer trimestre de 2008. Las estructuras se relevaron in-situ, considerando aspectos dimensionales y constructivos. Los datos registrados fueron:

- Datos de la propiedad y ubicación geográfica del predio según coordenadas GPS;
- Tipo, dimensiones y orientación de los invernaderos; número de módulos acoplados lateralmente; altura lateral y altura cenital del invernadero;
- Materiales de la estructura y cubierta;
- Tipo y dimensiones de la ventilación y
- Principales cultivos producidos.

En cuanto a los materiales utilizados para la cobertura de techos y laterales se registraron: tipo de material (rígido o flexible, espesor y aditivos); utilización de media sombra (tipo y ubicación respecto a la cubierta).

Para evaluar la funcionalidad de los invernaderos, se elaboraron los siguientes indicadores:

- Número de Invernaderos acoplados lateralmente/longitud de cada invernadero ( $m^{-1}$ );
- Superficie de cubierta plástica/superficie de suelo ( $m^2 \bullet m^{-2}$ );
- Superficie de ventana cenital/ superficie de suelo ( $m^2 \bullet m^{-2}$ ).
- Superficie de ventana lateral/superficie de suelo ( $m^2 \bullet m^{-2}$ )
- Para mayor detalle sobre la metodología, ver el Anexo Metodológico.

## Resultados

### Distribución geográfica de los invernaderos

En la provincia de Mendoza el número de invernaderos relevados en 2007/08 fue de 555, cubriendo una superficie de 684.538 m<sup>2</sup> (68,454 ha).

En el Oasis Norte la superficie bajo cubierta relevada fue de 57,98 ha, la que representa el 84,70 % del total provincial. De los nueve Departamentos con cultivos bajo cubierta en este oasis, tres de ellos (Guaymallén, Las Heras y Maipú) concentran el 71 % de la superficie con invernaderos. Guaymallén tiene el 38,15 % del total provincial, luego siguen en importancia Las Heras (16,82 %) y Maipú (15,92 %). (Tabla 41).

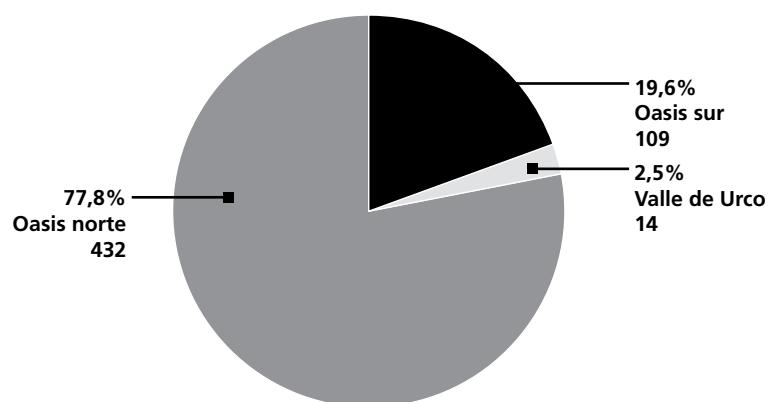
El oasis Sur contaba con una superficie bajo cubierta de 10,04 ha (14,67 % del total provincial), ubicadas especialmente en el Departamento de San Rafael (6,987 ha).

En el Valle de Uco se encontraba la menor superficie de invernaderos 0,427 ha (0,62 % del total provincial). (Tabla 41).

En cuanto al número de estructuras, su distribución es coincidente con la de la superficie, aunque varían los respectivos porcentajes: Oasis Norte 77,8%; Oasis Sur 19,6%; Valle de Uco 2,5%. (Figura 56)

La mayor parte de la superficie bajo cubierta y del número de estructuras se hallaba en el oasis Norte de la provincia, en el que las condiciones climáticas (temperatura, ocurrencia de heladas y granizo), son más favorables que en los otros dos oasis (Anexo I: Figuras 57, 58, 59 y 60; Tabla 54); de manera similar a lo que ocurre en otras partes del mundo, en donde la mayor concentración de invernaderos es observada en regiones con condiciones climáticas más favorables (von Elsner y col., 2000, citado por Bouzo y col., 2009).

Los Departamentos de Guaymallén y Las Heras, que presentan los menores valores de frecuencia de granizo (Anexo I: Tabla: 56), suman más del 54 % de la superficie con invernaderos en la provincia.



**Figura 56.** Número de invernaderos por oasis y porcentaje relativo.

**Tabla 41.** Localización por Departamento, superficie y número de invernaderos en la provincia de Mendoza (2007/08). Porcentaje respecto al total provincial.

Oasis	Departamento	Superficie (m <sup>2</sup> )	%	Nº de invernaderos	%
Norte	Guaymallén	261.178,9	38,15	173	31,17
	Las Heras	115.136,0	16,82	66	11,89
	Maipú	109.004,0	15,92	88	15,86
	San Martín	52.825,2	7,72	72	12,97
	Junín	21.592,3	3,15	16	2,88
	Lavalle	13.232,0	1,93	4	0,72
	Luján de Cuyo	5.497,6	0,80	10	1,80
	Santa Rosa	960,0	0,14	2	0,36
Valle de Uco	Rivadavia	400,0	0,06	1	0,18
	San Tunuyán	3.022,0	0,44	7	1,26
	San Carlos	1.248,6	0,18	7	1,26
Sur	San Rafael	69.871,0	10,21	43	7,75
	Gral. Alvear	30.570,0	4,47	66	11,89
Total Mendoza		684.538	100	555	100

#### *Tipos y dimensiones de invernaderos utilizados*

Del total de la superficie cubierta con invernaderos en Mendoza, unas dos terceras partes corresponden a estructuras tipo 'Techo curvo' (40,30 %) y 'Capilla' (dos aguas) (23,17 %). El resto de la superficie está cubierta con invernaderos tipo diente de sierra (14,61 %), macrotúneles (13,00 %), y estructuras tipo parral (8,82 %). La superficie (m<sup>2</sup>) promedio de cada tipo de invernadero se presenta en el Tabla 42.

**Tabla 42.** Tipos de invernaderos en la provincia de Mendoza (2007/08). Superficie cubierta y número de invernaderos. Porcentaje respecto al total provincial.

Tipo de invernadero	Superficie (m <sup>2</sup> )	%	Nº de invernaderos	%	Superficie media (m <sup>2</sup> )
Techo curvo (TC)	275.838	40,30	220	39,64	1.254
Capilla (Ca) (dos aguas)	158.592	23,17	151	27,21	1.050
Diente de sierra (DS)	100.000	14,61	10	1,80	10.000
Macrotunel (MT)	89.010	13,00	157	28,29	567
Parral (Pa)	60.358	8,82	12	2,16	5.030
Otros (O)	740	0,11	5	0,90	148
Total Mendoza	684.538	100	555	100	1.233

En el oasis Norte se encuentra la mayor diversidad de tipo de estructuras, predominando los macrotúneles y los invernaderos con techo curvo, sumando ambos tipos un 70 % del total de las estructuras en ese oasis. Las estructuras tipo parral (madera, de baja altura), que a mediado de los años '90 eran las predominantes, han pasado a representar menos del 3 %; si bien su costo es menor que las es-

tructuras de metal (macrotunel y techo curvo), han sido reemplazadas por estas últimas debido principalmente a la mejor posibilidad de control del clima interior. En el oasis Sur se encuentran sólo estructuras tipo techo curvo (66 %) y capilla (Tabla 43).

**Tabla 43.** Tipos de invernaderos en los distintos oasis. Número y porcentaje de invernaderos.

Tipo de invernadero	Oasis Norte		Oasis Sur		Valle de Uco	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Macrotunel (MT)	155	35,9	–	–	2	14,3
Techo curvo (TC)	141	32,6	72	66,1	7	50,0
Capilla (Ca) (dos aguas)	109	25,2	37	33,9	5	35,7
Diente de sierra (DS)	10	2,3	–	–	–	–
Parral (Pa)	12	2,8	–	–	–	–
Otros (O)	5	1,2	–	–	–	–

#### *Materiales de construcción*

Respecto a los materiales de construcción de las estructuras, predominan los de metal. Del total de las estructuras el 67,9 % tienen postes metálicos. Los invernaderos con techo curvo (TC) están construidos en un 93 % con postes y cumbreñas de metal; el 7 % restante tenían postes de madera y mayormente cumbreñas metálicas, habiendo sólo dos estructuras con cumbreñas de madera. El 82,2 % de los macrotunel y el 28,5 % de los invernaderos tipo capilla eran de metal.

De los invernaderos tipo capilla, el 71,5 % de las estructuras están construidas con madera (postes y cumbreñas).

Los invernaderos tipo diente de sierra y parral tienen, en su totalidad, postes de madera, siendo las cumbreñas en los primeros de madera y en los tipo parral el soporte de la cubierta era de alambre.

#### *Materiales de la cubierta*

Predominan, en un 97,3 %, las láminas flexibles de polietileno; el 2,7 % restante corresponde a materiales rígidos (Tabla 44). Los polietilenos larga duración térmico (LDT), son los más utilizados en la provincia (51,6 %), especialmente en el oasis Sur (en el 86 % de los invernaderos de la zona). El polietileno cristal (PE), sin aditivos, se utiliza en un 10 % de los invernaderos a nivel provincial, siendo el más usado en el Valle de Uco (Tabla 45). Los porcentajes según espesores para cada tipo de lámina se muestran en la Tabla 46.

Los materiales rígidos (vidrio, policarbonato y fibra de vidrio), se utilizan principalmente sobre estructuras metálicas, en instituciones dedicadas a la investigación.

**Tabla 44.** Materiales de cobertura de los invernaderos en la provincia de Mendoza. Porcentaje de invernaderos, según material de cobertura.

Materiales flexibles			Materiales rígidos		
PE	LD	LDT	Vidrio	PC	FV
9,8%	35,9%	51,6%	1,6%	0,6%	0,4%
	97,3%			2,7%	

**Tabla 45.** Materiales de la cubierta de los invernaderos en los distintos oasis de Mendoza en porcentajes

Zona	Material de cobertura de techo (en %)					
	PE	LD	LDT	Vidrio	PC	FV
Oasis Norte	11	44	43	1	0	0,3
Oasis Sur	1	12	86	0	1	1,0
Valle de Uco	45	0	18	27	9	0,0

**Tabla 46.** Tipo de polietileno y espesores de la cubierta de invernaderos en Mendoza. Porcentaje de invernaderos, según espesor por tipo de polietileno.

Tipo de polietileno	Espesor ( $\mu$ )		
	100	150	200
PE	53,4%	29,3%	17,2%
LD	42,4%	18,1%	39,5%
LDT	8,0%	72,1%	19,9%

Nota: para los cuadros 44 a 46: PE: polietileno cristal, sin aditivos; LD: polietileno larga duración; LDT: polietileno larga duración térmico; Vidrio: vidrio de 2 a 3 mm de espesor; PC: policarbonato; FV: fibra de vidrio.

### Cultivos realizados bajo cubierta

Los principales cultivos bajo invernáculo en Mendoza, de acuerdo a la superficie ocupada en 2007/08, fueron: hortalizas con 28,7 ha (41,9 % del total de la superficie bajo cubierta en la provincia); flores de corte y ornamentales 22,9 ha (33,4 %); y viveros (plantines de hortalizas, flores y leñosas) 16,6 ha (24,2 %). El rubro 'Varios' incluye distintos cultivos de aromáticas (0,21 %). (Tabla 47)

En cuanto al número de estructuras destinadas según cultivo en la provincia, el mayor porcentaje correspondió a cultivos de flores y ornamentales (37,4 %), siguiendo los viveros (33,7 %), siendo los cultivos de hortalizas los que presentaron el menor número de invernaderos (27,7 %), con la mayor superficie media por invernadero (Media ponderada= 1.861 m<sup>2</sup>). (Tabla 47). En algunos casos (27 estructuras, 7,44 ha), los invernaderos se utilizaron para el cultivo de hortalizas y flores en forma secuencial o superpuesta en el tiempo, compartiendo el espacio.

En el oasis Norte, el 43,8 % de las estructuras se utilizaron para el cultivo de flores y ornamentales, el 40,3 % a viveros y el 14,6 % a la producción de hortalizas. El 1,4 % restante se destinó a aromáticas y cultivos varios. En el oasis Sur la mayoría de las estructuras (79,4 %) se utilizaron para el cultivo de hortalizas, siguiendo en importancia el cultivo de flores (16,1 %), destinándose el resto a viveros. En el Valle de Uco, el 71,4 de los invernaderos se destinan a viveros y el resto al cultivo de hortalizas.

**Tabla 47.** Tipo de cultivo bajo invernaderos, superficie media y número de estructuras por tipo de cultivo en la provincia de Mendoza (2007/08). Porcentaje respecto al total provincial. Superficie media del invernadero.

Cultivo	Superficie (m <sup>2</sup> )	%	Número de estructuras	%	Superficie media (m <sup>2</sup> )
Hortalizas	287.055	41,9	154	27,7	1.864
Flores y ornamentales	228.729	33,4	208	37,4	1100
Viveros	165.900	24,2	187	33,7	887
Varios	1.454	0,21	4	0,90	364
Sin cultivo	1.400	0,20	2	0,36	700
Total Mendoza	684.538 m <sup>2</sup>	100	555	100	1233

**Tabla 48.** Tipos de invernaderos según cultivo en la provincia de Mendoza (2007/08). Superficie total cubierta y número de estructuras en la provincia. Porcentaje respecto al total del cultivo. Superficie media por invernadero (m<sup>2</sup>).

Cultivo	Tipo de invernadero	Superficie cub. (M <sup>2</sup> )	%	Número de estructuras	%	Superfic. Media (m <sup>2</sup> )
Hortalizas	Techo curvo (tc)	116.067	40,43	92	59,86	1.262
	Diente de sierra (ds)	100.000	34,84	10	6,51	10.000
	Parral (pa)	35.960	12,53	7	4,68	5.000
	Capilla (ca)	31.234	10,88	33	21,15	961
	Macrotunel (mt)	3.796	1,32	12	7,81	316
	Total hortalizas	287.056	100	154	100	1.861
Flores y ornamentales	Capilla (ca)	107.168	46,85	92	44,32	1.165
	Macrotunel (mt)	63.837	27,91	59	28,42	1.082
	Techo curvo (tc)	31.695	13,86	47	22,64	674
	Parral (pa)	25.406	11,11	7	3,18	3.852
	Otros (o)	623	0,27	3	1,45	208
	Total flores y ornamentales	228.729	100	208	100	1.107
Viveros	Techo curvo (tc)	126.832	76,45	80	42,78	1.585
	Macrotunel (mt)	21.377	12,89	86	45,99	249
	Capilla (ca)	17.691	10,66	21	11,23	842
	Total viveros	165.900	100	187	100	887

Los cultivos hortícolas bajo invernadero muestran un notable incremento (319 %) respecto a lo estimado en 1995 (9 ha) (Gabriel, E. L., 1997), sumando en 2007/08 una superficie bajo cubierta de 28,71 ha. Por el contrario, la superficie con cultivos de flores bajo invernaderos, muestra una tendencia negativa: según los datos publicados por el IDR, en el año 2000 (IDR. 2000) habían 35,48 ha, en 2004 sumaban 32,86 ha (Baroni y col., 2004); y en 2007/08 la superficie relevada de invernáculos cultivada con flores fue de 22,87 ha, resultando un 35,5 % menor que en 2000.

Los tipos de invernaderos predominantes según los distintos cultivos protegidos se muestran en la Tabla 48.

Un 60 % de los invernaderos con cultivos hortícolas son estructuras metálicas con techo curvo. Lo que indica que el aumento de la superficie bajo cubierta de hortalizas desde fines de los años '90 se ha producido con estructuras con mejores posibilidades de control del clima que las utilizadas en 1995 (predominantemente parral y capilla de madera). Los invernaderos diente de sierra y la mayor parte de los tipo parral se destinan a cultivos hortícolas.

Los cultivos de flores y ornamentales bajo cubierta se hacen mayormente bajo estructuras tipo capilla y macrotúneles, siguiendo en número de estructuras los invernaderos de techo curvo.

En los viveros predominan los invernaderos con techo curvo y macrotunel, sumando ambos un 89 % del número total de estructuras destinadas a esta actividad.

#### **Cantidad de módulos acoplados por invernadero**

Según el número de módulos acoplados, predominan los invernaderos de un solo módulo, en general (57,5 %) y en todos los tipos de techos; siguen en importancia los invernaderos con 2 a 5 módulos. Estructuras con 6 o más módulos acoplados representan, en general, menos del 5 % y se observan en los tipos capilla, techo curvo y macrotúneles. A su vez, la altura cenital media de los módulos se incrementa a medida que aumenta el número de módulos acoplados, de 3,30 m en los de un solo módulo a 4,54 m en los de 6 a 10 módulos acoplados (Tabla 49).

**Tabla 49.** Número y porcentaje de invernaderos con módulos acoplados lateralmente, en general y según tipo de techo: Capilla (Ca), Techo curvo (TC), Macro tunel (MT), Diente de sierra (DS), Parral (Pa) y otros. Altura cenital media según número de módulos.

Nº Módulos Acoplados	Número de invernaderos		Altura cenital m	Módulos acoplados / Tipo invernaderos (%)					
	General	%		Ca	TC	MT	DS	Pa	Otros
1	319	57,48	3,30	49,01	59,09	56,69	100	91,67	100
2 a 5	210	37,84	3,80	43,71	38,18	37,58	-	8,33	-
6 a 10	22	3,96	4,54	5,30	2,27	5,73	-	-	-
11 a 15	2	0,36	4,25	1,32	-	-	-	-	-
≥ 16	2	0,36		0,66	0,45	-	-	-	-

*Relación entre Número de módulos acoplados / largo del invernadero ( $m^{-1}$ ).*

Este índice relaciona el número de invernaderos acoplados lateralmente con el largo de cada invernadero. Se considera que cuando el valor de esta relación aumenta, es posible que se incrementen los problemas de ventilación, en el caso que no se tenga ventilación cenital. En general, para los distintos tipos de invernaderos, el índice alcanzó un valor promedio de  $0,128\text{ m}^{-1}$ . (Tabla 50)

**Tabla 50.** Relación entre el número de módulos acoplados y el largo del invernadero ( $m^{-1}$ ), para los distintos tipos de invernaderos de Mendoza.

Tipo Invernadero	Indicador	Unidad	Valor Medio	Desv. Est.
General			0,128	0,205599
Capilla			0,096	0,1075075
Techo Curvo			0,184	0,1275664
Macrotunel	1	$\text{m}^{-1}$	0,100	0,0942242
Diente de Sierra			0,010	1,735 e-18
Parral			0,031	0,0293851

Los mayores valores medios ( $0,184$ ) se presentan en los invernaderos de techo curvo ( $0,184$ ). Este resultado se debe a que un 10 % de estos invernaderos, con 5 módulos acoplados (de escaso ancho), tienen una longitud relativamente corta (6 m), lo que incrementa el valor de la relación ( $0,833$ ). Corresponden a estructuras utilizadas para vivero, en las que, aunque no cuentan con ventilación cenital, no se presentan problemas de ventilación debido a la escasa superficie cubierta ( $90\text{ m}^2$ ) y a que disponen de aberturas en todo su perímetro.

En el resto de los tipos de invernaderos los valores del indicador son relativamente bajos ( $0,010 - 0,100$ ), lo que permite inferir que no habría problemas de ventilación al contar con suficiente superficie de ventanas laterales, frontales o cenitales.

**Tabla 51.** Superficie de cubierta plástica/superficie de suelo según tipo de invernadero y promedio. Valores medios y desviación estándar.

Tipo Invernadero	Indicador	Unidad	Valor Medio	Desv. Est.
General			1,21	0,1880886
CA			1,12	0,16714269
TC	2	$\text{m}^2 \bullet \text{m}^{-2}$	1,22	0,19815068
MT			1,32	0,13340510

Relación entre la superficie de la cubierta plástica y la superficie de suelo cubierto ( $\text{m}^2 * \text{m}^{-2}$ ).

Este índice permite estimar pérdidas de calor por conducción; el valor medio general encontrado es de  $1,21 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ , con una desviación estándar de 0,188. En la Tabla 51 se presentan los valores medios y desviación estándar según tipo de invernadero y el valor promedio (general).

#### *Orientación de los invernaderos*

En general, independientemente de la zona y tipo de estructura, la orientación predominante de los invernaderos es N-S; el 85 % en el oasis Norte, el 70 % en el oasis Sur y el 100 % en el Valle de Uco. Esta orientación se adapta bien, especialmente para las estructuras con ventilación cenital, tanto en relación a dirección de los vientos predominantes en verano en los oasis Norte y Sur (que soplan con mayor frecuencia desde el E (Anexo I: Figuras 60 y 67), perpendicular al eje mayor del invernadero); como también, en relación a los vientos con intensidad extrema (N ó S), exponiendo una menor superficie a la dirección de las ráfagas (Anexo I: Tablas 54 y 55). A su vez la orientación N-S, produce en invierno un menor sombreadamiento entre las naves y, la orientación de los cultivos siguiendo el eje longitudinal del invernadero (N-S), disminuye la resistencia aerodinámica interna, favoreciendo una adecuada renovación de la masa de aire. Por otra parte, en el caso de cultivos tutorados de gran desarrollo como tomate y pimiento, favorece la distribución homogénea interna de la luz por ser menor el sombreo entre las hileras (Bouzo y Pilatti, 1999).

#### *Ventilación natural pasiva*

- En cuanto a la ventilación cenital, el porcentaje de invernaderos que cuentan con ventanas en el techo depende del tipo:
- Macrotunel (MT): 50 % de los invernaderos cuenta con ventilación cenital, con una superficie promedio de ventanas en el techo del 17,4 % respecto a la superficie cubierta del suelo, con valores que oscilan entre 7,5 % y 31,3 %.
- Capilla (CA): El 25,2 % de las estructuras cuenta con ventilación cenital. La superficie promedio de las aberturas es del 10,9 % respecto a la superficie cubierta del suelo, con valores que oscilan entre el 4 % y el 14 %.
- Techo curvo (TC): sólo el 12,7 % de los invernaderos cuenta con ventilación cenital, con una superficie promedio de ventanas en el techo del 10,4 % en relación a la superficie cubierta del suelo, con valores que oscilan entre 3,3 % y 22,1 %.

En los invernaderos tipo "parral", la superficie de las ventanas cenitales es variable, ya que según la necesidad de ventilación se corren franjas de la cubierta del techo.

**Tabla 52.** Relación superficie de ventana cenital respecto a la superficie de suelo cubierto (en %), según tipo de invernadero. Mendoza, 2008.

Tipo Invernadero	Indicador	Unidad	Valor Medio	Desv. Est.
General			13,9	0,08774
CA			10,9	0,06600
TC	3	$m^2 \bullet m^{-2}$	10,4	0,02600
MT			17,4	0,10057

#### *Ventilación lateral y frontal*

La relación entre la superficie de ventanas (laterales y frontales) y la superficie de suelo, que afecta en forma directa a la tasa de ventilación pasiva del invernadero, varía fundamentalmente con el número de módulos acoplados. En los invernaderos tipo capilla de un solo módulo el valor de esta relación es de 37,5 %, mientras que en los invernaderos con 2 a 5 módulos acoplados se reduce a 15,8 %. Los invernaderos con techo curvo de un solo módulo presentan una relación de 42,4 %, mientras que en los de 2 a 5 módulos acoplados se reduce a 17,4 %. Algo similar ocurre con los macrotuneles, en los que los de un solo módulo presentan una relación del 42,6 % y los con 2 a 5 módulos acoplados un 17,0 % (Tabla 53).

**Tabla 53.** Relación superficie de ventanas (lateral + frontal) respecto a la superficie de suelo cubierto, según tipo de invernadero y número de módulos acoplados. Mendoza, 2008.

Tipo Invernadero	Indicador	Unidad	1 módulo	Desv. Est.	2-5 módulos	Desv. Est.
General			0,409	0,2094	0,168	0,08491
CA			0,375	0,22976	0,158	0,08909
TC	4	$m^2 \bullet m^{-2}$	0,424	0,15792	0,174	0,09615
MT			0,426	0,28489	0,170	0,06774

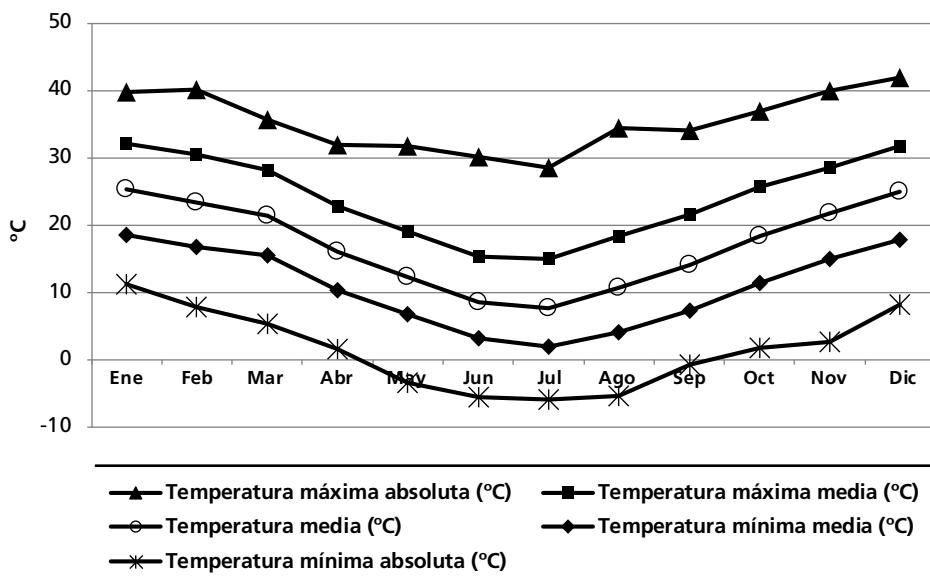
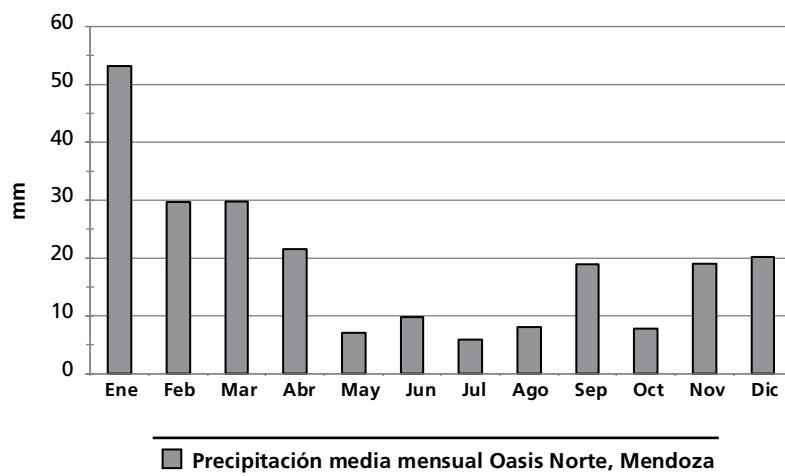
#### **Conclusiones**

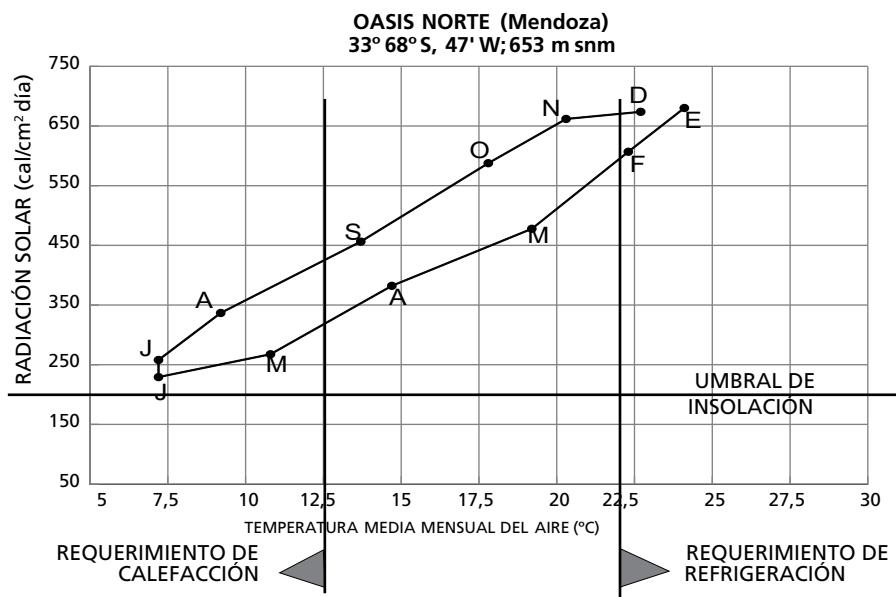
El mayor número de invernaderos en la provincia de Mendoza se encuentra en el oasis Norte, donde las condiciones climáticas son más favorables para los cultivos de clima templado.

El tipo de invernadero predominante en la provincia, es el de techo curvo con estructuras metálicas. Los invernaderos tipo parral, de madera y baja altura, predominantes en los años '90, representan en 2008 un exiguo porcentaje.

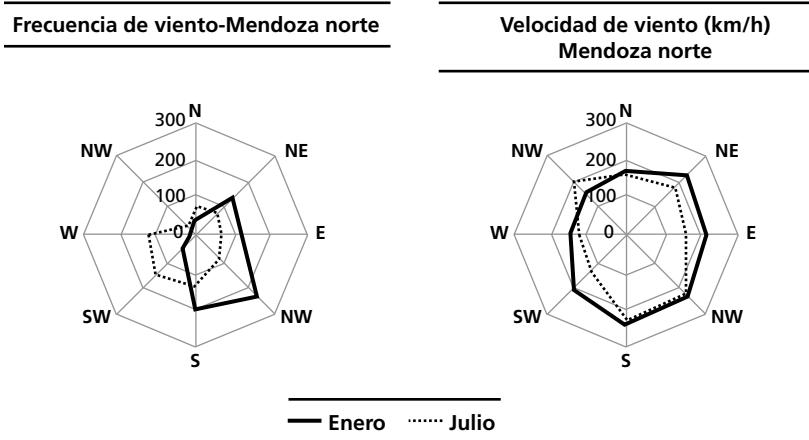
Los invernaderos de un solo módulo y con orientación N-S son los que predominan. Los invernaderos con más de cinco módulos acoplados representan un escaso porcentaje.

Los cultivos protegidos que más han incrementado su superficie son las hortalizas; los cultivos de flores de corte y ornamentales muestran una tendencia negativa.

**Anexo I: Características climáticas de los oasis productivos de Mendoza****Oasis Norte****Figura 57.** Temperaturas medias y absolutas. Oasis Norte, Mendoza**Figura 58.** Precipitaciones medias mensuales. Oasis Norte de Mendoza.  
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional - Argentina (SMN)



**Figura 59.** Climograma para la estimación de las posibilidades climáticas para el cultivo de especies de clima templado en invernaderos fríos en el Oasis Norte de Mendoza.



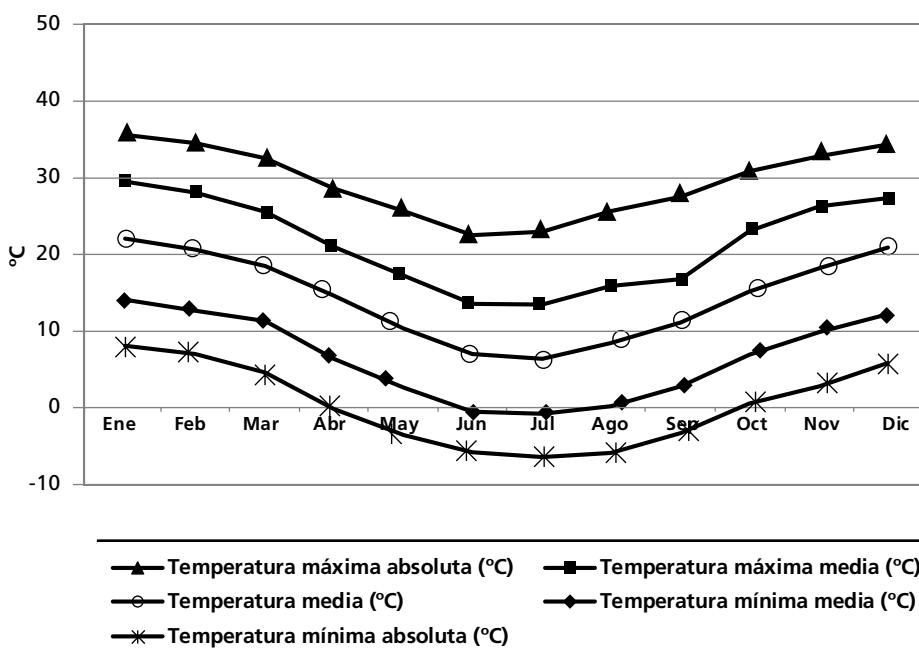
**Figura 60.** Rosa de los vientos Oasis Norte de Mendoza.  
a) Frecuencia b) Velocidad

**Tabla 54.** Vientos: valores extremos.

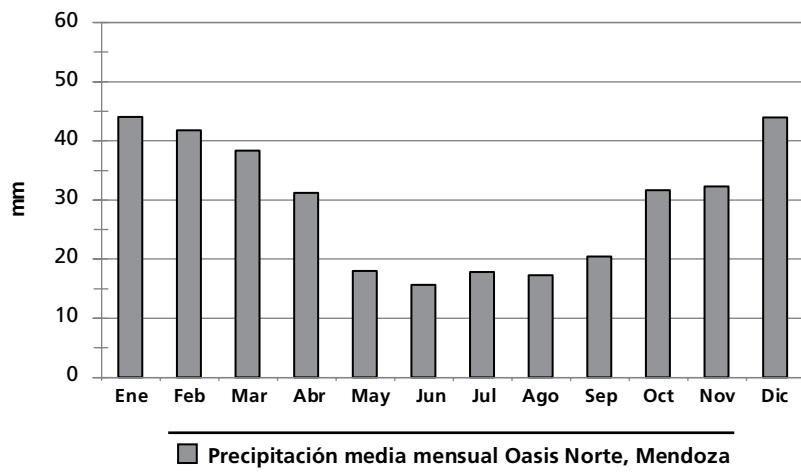
Mes	Dirección	Velocidad Máxima (km/h)
Enero	SSW	74
Febrero	SSW	85
Marzo	SE	81
Abril	SE	61
Mayo	N	74
Junio	N	59
Julio	NNE	104
Agosto	NNW	96
Septiembre	N	76
Octubre	S	80
Noviembre	SW	85
Diciembre	W	72

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional - Argentina (SMN)

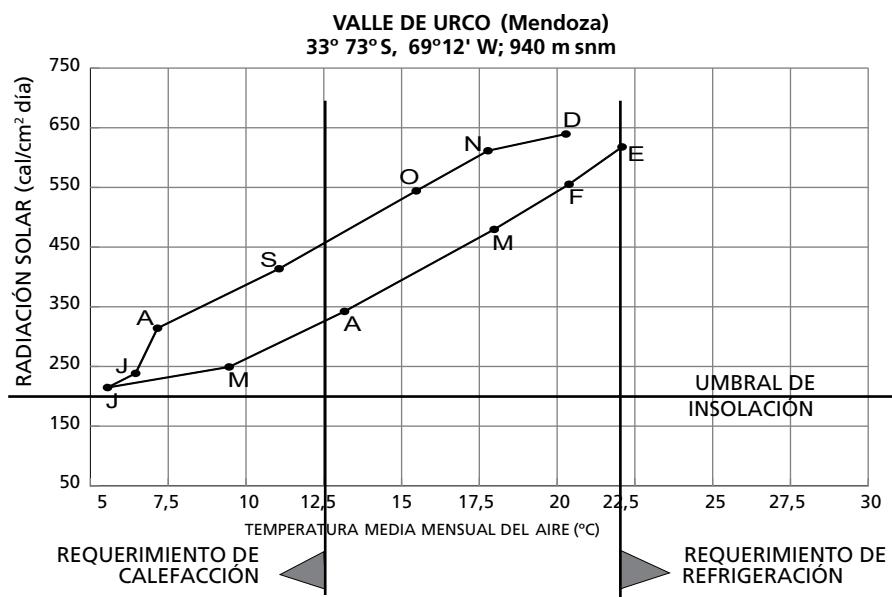
#### Oasis centro / alle de Uco

**Figura 61.** Temperaturas medias y absolutas. Oasis Centro Mendoza

Fuente: Estación meteorológica INTA, EEA La Consulta

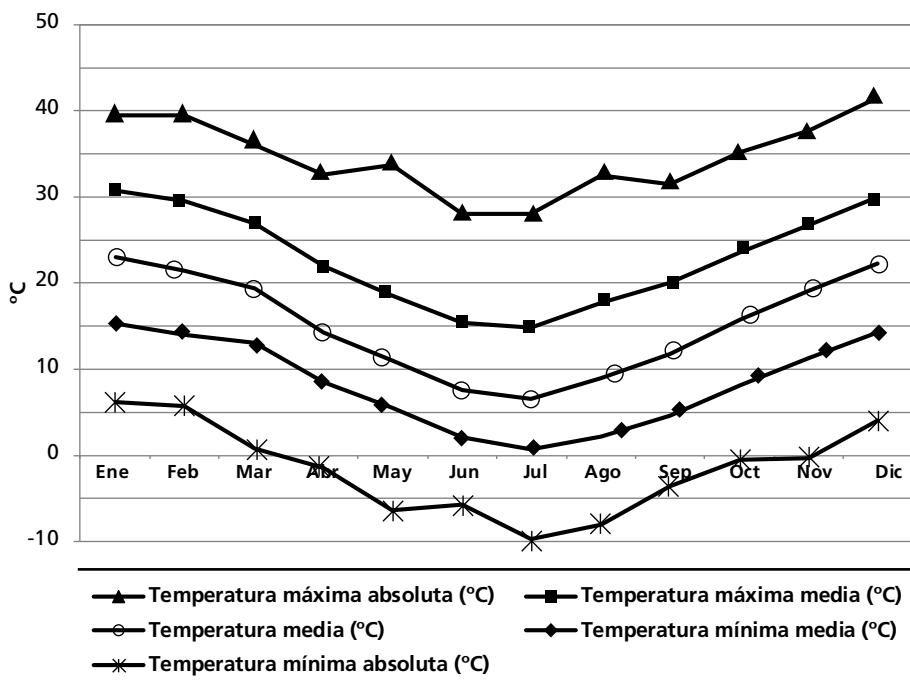
**Figura 62. Precipitación Media Mensual.**

Fuente: Estación meteorológica INTA, EEA La Consulta

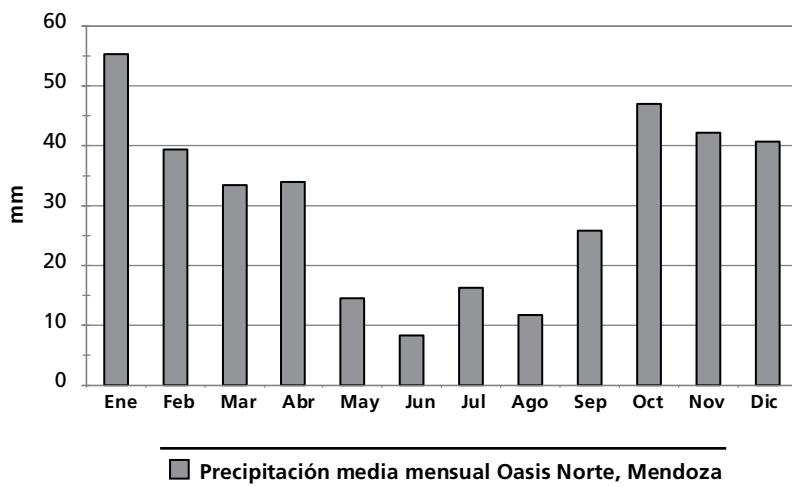
**Figura 63. Climograma para la estimación de las posibilidades climáticas para el cultivo de especies de clima templado en invernaderos fríos en el Valle de Uco. Mendoza**

Fuente: Gabriel, E.L. 1997

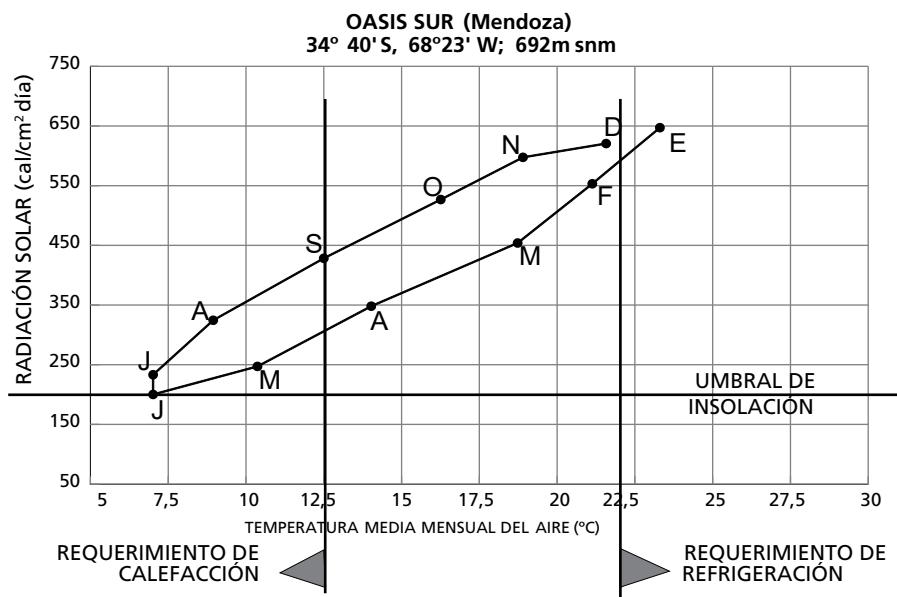
## Oasis Sur

**Figura 64.** Temperaturas medias y Absolutas. Oasis Sur. Mendoza.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional - Argentina (SMN)

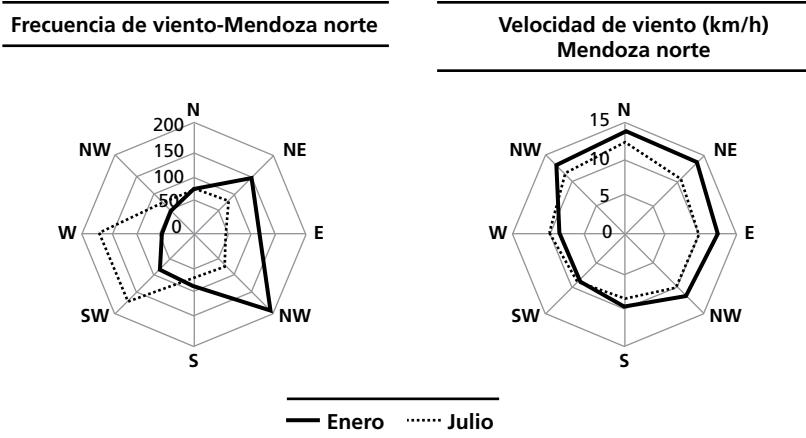
**Figura 65.** Precipitaciones medias mensuales. Oasis Sur. Mendoza.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional - Argentina (SMN)



**Figura 66.** Climograma para la estimación de las posibilidades climáticas para el cultivo de especies de clima templado en invernaderos fríos en el Oasis Sur. Mendoza.

Fuente: Gabriel, E.L.. 1997



**Figura 67.** Rosa de los vientos Oasis Sur de Mendoza.

**Tabla 55.** Vientos: valores extremos.

Mes	Dirección	Velocidad Máxima (km/h)
Enero	SW	98
Febrero	NW	83
Marzo	SW	124
Abril	SE	65
Mayo	N	70
Junio	SW	115
Julio	W	100
Agosto	SW	93
Septiembre	SE	74
Octubre	W	115
Noviembre	NNW	94
Diciembre	S	120

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional - Argentina (SMN)

**Tabla 56.** Frecuencia anual de caída de granizo por Departamento, provincia de Mendoza. Valores promedio y frecuencias mínima y máxima anual.

Oasis	Departamento	Promedio	Min	Máx	Desv estand
Norte	Guaymallen	1,9	0	4	1,4491
	Las heras	2,1	0	5	1,3703
	Lavalle	5,4	1	11	3,2728
	Lujan de cuyo	6,6	2	10	2,5473
	Maipu	6,8	3	10	2,4404
	Junin	6,5	4	12	2,7183
	San martin	10,3	5	18	3,9455
	Rivadavia	8,1	3	16	3,6040
	Santa rosa	8,1	2	13	3,3813
Valle de uco	Tunuyan	3,4	1	5	1,4298
	San carlos	4,5	1	10	2,7588
Sur	San rafael	12,3	6	19	5,0122
	General alvear	6,2	4	8	1,6865

Fuente: Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DACC), Mendoza.

**Anexo II: Fotos**

*Tipos de invernaderos más comunes en la provincia de Mendoza*



**Foto 26.** Invernadero tipo “Techo Curvo” (TC). A) solo b) con tres módulos acoplados.



**Foto 27.** Invernadero tipo "Capilla" (Ca). A) Tradicional b) Con ventilación cenital.



**Foto 28.** Invernadero tipo “Macrotúnel” (MT).



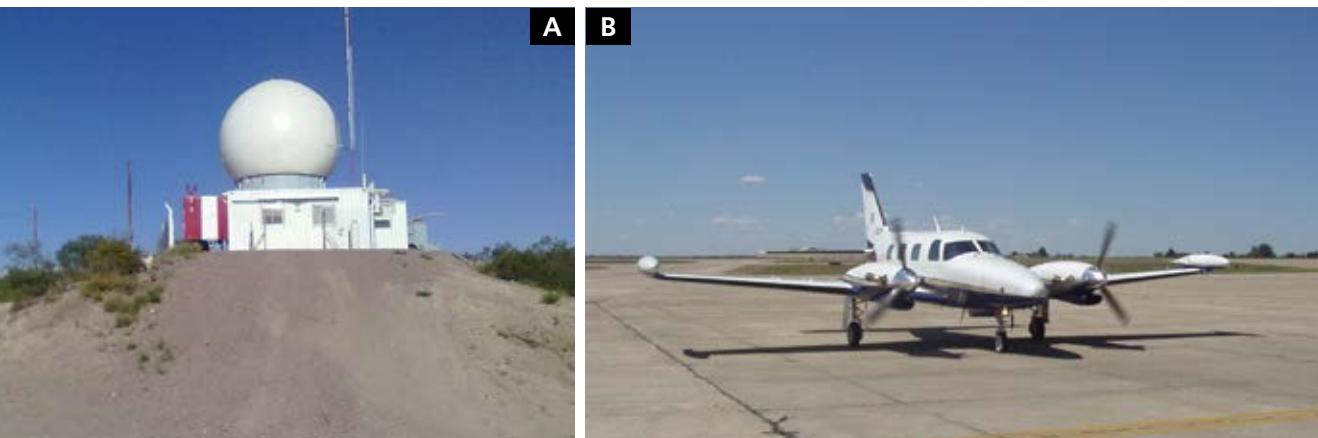
**Foto 29.** Invernadero tipo “Parral” (PA).

*Protecciones contra viento*



**Foto 30.** Cortinas rompevientos para protección de invernaderos. Cortina de árboles en el fondo. Cortina de material permeable al aire en el frente.

*Protecciones contra granizo*



**Foto 31.** Lucha antigranizo activa. A) Radares de tierra. B) Aviones de siembra de núcleos de congelación.

Fuente: Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DACC), Mendoza.



**Foto 32.** Lucha antigranizo pasiva. A) Malla antigranizo sobre estructura portante. B) Malla antigranizo sobre bloques de poliestireno

## Región Patagónica

### La producción hortícola en los valles de regadío de la norpatagonia / Norma Iglesias

#### *Introducción*

La horticultura regional, según fuentes de datos de encuestas y censos abarca una superficie de entre 7.000 a 9000 hectáreas de cultivos hortícolas anuales visualizándose un incremento del valor bruto de la producción durante la última década producto de varios factores que favorecen el consumo de productos regionales. La limitante mayor para los cultivos hortícolas en la región es el clima ya que el período libre de heladas va desde abril hasta octubre (otoño a primavera), esto se traduce en un déficit del abastecimiento local del 70-75% del volumen consumido.

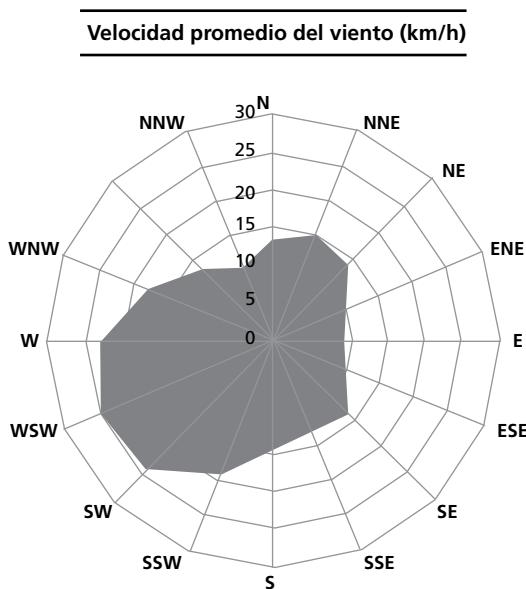
Las grandes distancias a los principales centros productivos, sumado a las condiciones climáticas adversas, se traducen en desabastecimiento de productos frutihortícolas durante los meses de temperaturas más bajas. Esto conlleva a adaptación y desarrollo de tecnologías locales para abastecer una demanda creciente, tanto de la población estable como de la industria de turismo que ha empezado a desarrollarse en los últimos años. La producción bajo cubierta, que permite ampliar el período de cultivo, es una tecnología relativamente nueva en la región y requiere de tecnología adaptada que permita disminuir los costos de producción para permitir productos competitivos.

#### *Características climáticas de la región*

Un hecho destacable del clima de la región Patagónica es la gran velocidad de los vientos del oeste - sudoeste. Estos se caracterizan no solo por su persistencia durante el año sino también por su intensidad. Los valores observados de velocidad de viento media anual en la región centro-oeste de Chubut varían entre 15 y 22 km\*h<sup>-1</sup>. La región del Alto Valle de Río Negro, al norte de la Patagonia, se caracteriza por vientos dominantes del sector s-so, con velocidad promedio de 25 km/h. (Figura 68). La distribución anual de las velocidades de viento indica máximos entre setiembre y enero y mínimos en invierno. En el promedio anual y para toda la región el efecto del viento reduce las temperaturas en 4.2° C y la disminución térmica es mayor en verano.

La producción bajo cubierta, en el norte de la Patagonia, se centra fundamentalmente en la oferta de lechuga durante todo el año y tomate como primicia en el mercado regional. Se suele cultivar para completar la oferta, especies de menor demanda de temperatura, como por ejemplo apio, acelga, espinaca y lechuga (Iglesias y Frattini, 1996). La necesidad de calefaccionar para lograr las temperaturas óptimas para los cultivos obligan a buscar formas de reducir el uso del combustible empleado para la calefacción de los meses fríos.

El escenario de la producción bajo cubierta fue mostrando notorios cambios tecnológicos durante los últimos años, desde tecnología más desarrollada en cuanto a estructuras, diseño y manejo a aquellas con menor tecnología y eficiencia desde el punto de requerimientos de los cultivos. Dos factores importantes marcaron este cambio, por un lado el aumento del costo de los combustibles requeridos para la calefacción que significan una gran limitante para la producción de hortalizas de fruto como primicia y por otro lado la afluencia de productores de origen boliviano que emplean su propio "know how" en lo que respecta al cultivos de hortalizas y en particular la producción bajo cubierta.



**Figura 68.** Registros de velocidad promedio (Km/h) y dirección del viento durante el período 01/07/2003 a 15/02/2004 en el Alto Valle de Río Negro.

\*Elaboración propia a partir de datos de INTA Estación Experimental Alto Valle.

De esta manera, el clima de la Patagonia se ubica en los de tipo moderado, con cuatro estaciones bien definidas, con primaveras y otoños cortos e inviernos largos con gran amplitud entre las temperaturas de invierno y de verano. Un corte transversal en la geografía de la Patagonia Norte ( $39^{\circ}\text{S}$ ), área de desarrollo de las actividades del presente trabajo, muestra amplitudes térmicas anuales de más de  $10^{\circ}$  en San Carlos de Bariloche, de más de  $17^{\circ}$  en Maquinchao, en el corazón de la Meseta, y de unos  $13^{\circ}$  en Carmen de Patagones, a 30 Km. del Atlántico. Debido a su altura, el área de Maquinchao (cerca de 800 mts. sobre el nivel del mar) alcanza excepcionalmente los  $30^{\circ}$  bajo cero, con lo que resulta tan fría como las áreas más frías de

la Patagonia Austral. La temperatura media en invierno, sin embargo, es de -2°C, la misma que en Tierra del Fuego, extremo sur de Argentina.

Las temperaturas máximas absolutas son altas en la Patagonia, con marcas de hasta 45° en la parte oriental de la mesopotamia configurada por los ríos Colorado y Negro, y un poco menos en Carmen de Patagones.

Las estructuras desarrolladas en norte de la Patagonia se caracterizan fundamentalmente por estar adaptadas a los fuertes vientos primaverales con ráfagas que superan los 120 km.h<sup>-1</sup> en dirección predominante O-E. Comúnmente son estructuras de 12 a 24 m de ancho, por lo general del tipo multitúnel o multicapilla, formado por 2 o 3 módulos de 6 metros de ancho, 2.5 a 3 metros de altura en canaleta y de 3.5 a 5 metros en cumbre. No se emplea sistema de ventilación cenital sino lateral mediante cortinas enrollables a partir de un zócalo de 0.50-0.80 m de altura. En cuanto al uso de calefacción, el 80 % son invernaderos calefaccionados y el 20 % fríos. Debido a las bajas temperaturas y al ciclo del principal cultivo, tomate primicia, se trabaja con doble cobertura de techo empleándose como cubierta externa polietileno térmico larga vida (PE LDT) de 150 µm y polietileno cristal de 50 a 100 µm para el doble techo interno.

Se produce principalmente tomate primicia el cual se trasplanta en agosto-septiembre para abastecer el mercado a partir de octubre como producción primicia. En el período otoño invernal se cultivan fundamentalmente hortalizas de hojas sin aporte calórico por calefacción.

La tecnología de producción bajo cubierta del norte de la Patagonia, buscando conjugar los costos de la adaptación de tecnología con la rentabilidad de los cultivos, centra su producción fundamentalmente la oferta de tomate y pimiento como primicia de primavera-verano en el mercado regional. Esto significa un ciclo de cultivo entre agosto y enero como meses extremos. Durante el resto de los meses se suele cultivar especies de menor demanda de temperatura y luz, como por ejemplo apio, acelga, espinaca y lechuga.

La producción bajo cubierta regional de tomate y pimiento debe competir con productos procedentes del norte del país, lugar en el cual los costos de producción son menores, lo que obliga a buscar formas de reducir el uso del combustible empleado para la calefacción de los meses fríos y lograr buena captación de luz que permita optimizar los rendimientos. Es práctica común en la región trasplantar desde fines de julio a mediados de agosto y mantener las temperaturas nocturnas en rangos entre 4 y 7°C cuando las temperaturas externas son inferiores a 0°C, buscando así mitigar los costos demandados por la calefacción. No proveer al cultivo de las temperaturas óptimas nocturnas repercute negativamente en los niveles productivos, fundamentalmente de los racimos inferiores de tomate los cuales permiten la primicia en mercado.

#### ***Descripción de las estructuras presentes***

La plasticultura de la Patagonia que se inicia a mediados de la década de 1980, se basó en modelos de otras zonas productivas del país y principalmente de los modelos

mediterráneos, adaptándolas a las condiciones climáticas de la región. Es así como de las formas de los invernaderos mediterráneos descriptos en documentos de la FAO, fundamentalmente se adaptan las formas de invernaderos de techo plano simétrico a dos aguas (figura 1a) y el arco redondeado con paredes verticales (figura 1d).

La doble cubierta, en techos de una pendiente de 20°, implica una disminución de la transmitancia a la radiación PAR del 8- 9%. El empleo de una doble cubierta de polietileno normal o cristal, de 50 µm de grosor, permite reducir las pérdidas de calor entre el 7 y 11% (Iglesias, 2005)

Experiencias realizadas sobre desarrollo de frutos y productividad de plantas de tomate en el sector norte y sector sur de un invernadero en el norte de la Patagonia (Iglesias y col., 2003) permitieron establecer que no existen diferencias de desarrollo de plantas ni de rendimientos entre el sector norte y sector sur del invernadero, evi-denciándose, a lo largo de la temporada de cultivo, diferencias en el tamaño final de los frutos siendo mayores los comprendidos en los racimos intermedios debido a condiciones climáticas más favorables a los procesos metabólicos del vegetal.

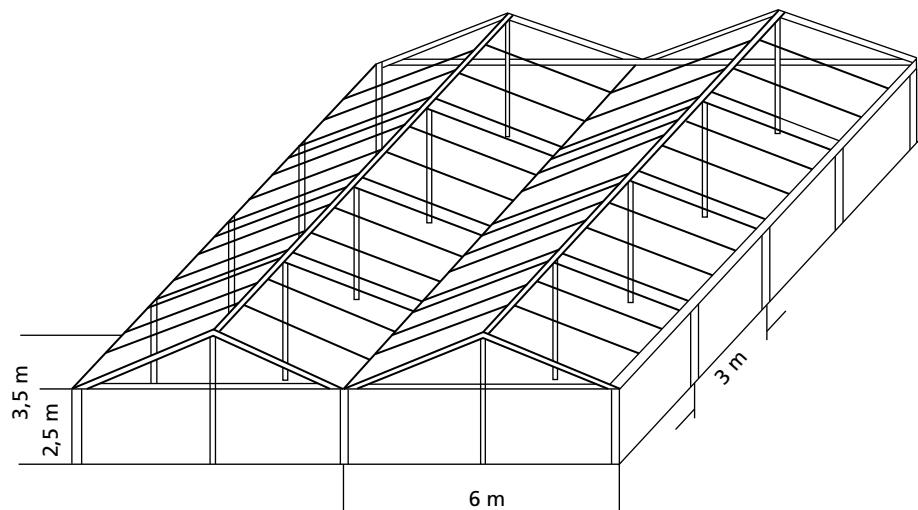
En el norte de la Patagonia existen tres tipos de estructuras en cuanto a materiales de construcción: metálicas, de madera, o combinación de ambas. El techo puede ser del tipo capilla o dos aguas, simétricos, y el tipo curvo ó semiparabólico, este último siempre es de metal.

**Tabla 57.** Tipo de estructuras de invernaderos existentes en la Patagonia, ventajas y desventajas.

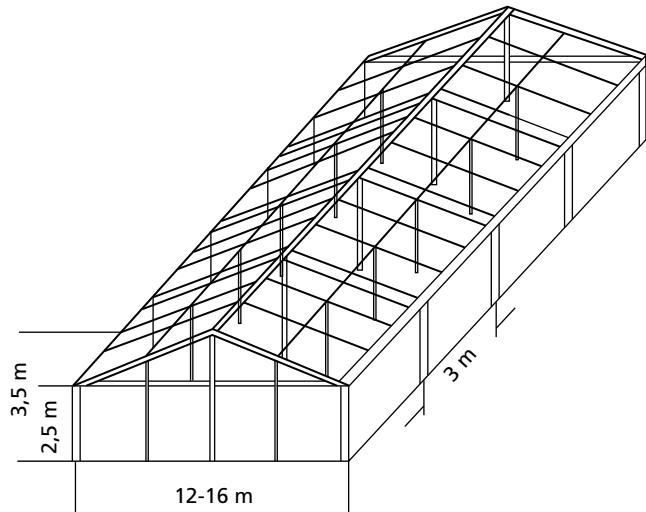
Tipo de estructura	Ventajas	Desventajas
Madera	Económica Disponibilidad de material en la zona	Poca duración Produce sombreo Baja hermeticidad Problemas de fijación del polietileno Menor transmitancia de luz
Metálica	Resistencia a los vientos. Duración. Fácil armado Menores pérdidas de calor Bajo sombreo interno Mejor sujeción del polietileno Mayor transmitancia	Más costosas que las de madera. Si son de hierro no galvanizado se pueden oxidar.
Combinada	Costos intermedios. Fácil armado. Transmitancia similar a la estructura metálica Buena fijación del polietileno	Menor duración, de la parte de madera, que la metálica. Menor resistencia a los vientos que la metálica.

En la figura 69 se observa el esquema más común de un invernadero multicapilla de techo a dos aguas, el cual puede ser realizado en madera o metal.

En la figura 70 se observa un invernadero capilla simple ancho. Aunque esta es-tructura no era muy común hace un par de décadas atrás, en la actualidad está en



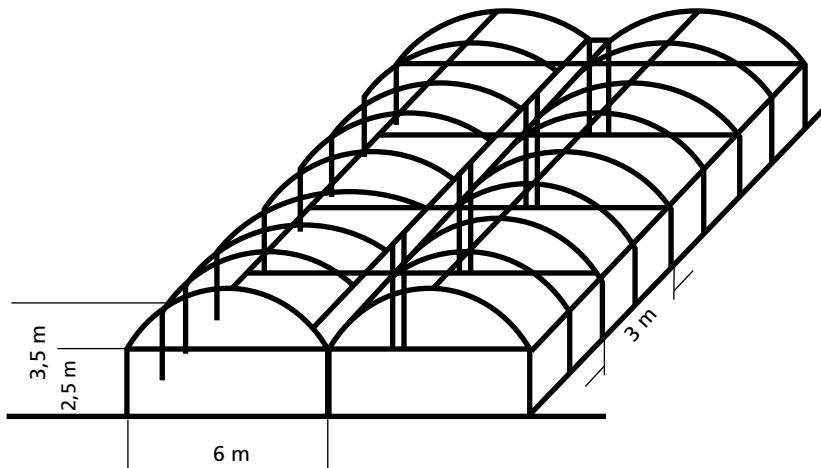
**Figura 69.** Esquema de la estructura de un invernadero multicapilla.



**Figura 70.** Esquema de un invernadero simple capilla ancho.

expansión producto de la reconversión del sistema productivo hortícola basado en la inmigración de productores bolivianos a la región. Por lo común su altura lateral es inferior a 2 metros y el ángulo de inclinación del techo muy bajo, debido a que el ancho de la capilla no permite una adecuada inclinación del techo ya que se necesitarían postes centrales muy altos. Esto repercute directamente en una inadecuada captación de luz, inadecuado calentamiento de suelo en meses menos cálidos e ineficiente tasa de ventilación durante los meses de mayor temperatura.

En la figura 71 se muestra un invernadero de techo semiparabólico, puede ser construido totalmente en metal, aprovechando los caños de extracción del petróleo (tubing), o con postes de madera y cabreadas metálicas, lo que denominamos estructura combinada.



**Figura 71.** Esquema de un invernadero de techo semiparabólico.

En la foto 33 se presenta un invernadero multicapilla de 48 metros de ancho, construido en madera. Este tipo de estructura, también en expansión por la misma situación expuesta en el modelo de invernadero de capilla ancha, presenta problemas de ventilación si se destina el mismo al cultivo de hortalizas de fruto. Por otro lado el ángulo de inclinación del techo está por debajo de lo recomendado para la zona para hacer más eficiente la captación de energía lumínica.

Este tipo de estructura por lo general es baja, lo cual le permite mayor resistencia a los vientos de la región. Por lo general se destinan a cultivos de hoja, fundamentalmente lechuga (foto 34), pero la baja altura se convierte en un problema cuando se quiere cultivar tomate ya se producen altas temperaturas en la zona superior del invernadero lo cual impacta con pérdida de producción por aborto de flores.

Otra de las características de este tipo de estructura es el sistema de sujeción del las cubiertas de techo en la zona de empalme con las paredes laterales. Por lo general se deja una zona sin polietileno por la cual se pierde gran cantidad de calor (foto 35).

No solo las bajas temperaturas extremas son un problema en el norte de la Patagonia, también las altas temperaturas perjudican los cultivos. Existen días en la primavera en los cuales se hace necesario calefaccionar durante la noche y ventilar durante el día ya que la temperatura supera los 30 °C dentro del invernadero.



**Foto 33.** Imagen de un invernadero multicapilla de dimensiones no recomendadas para la región patagónica.



**Foto 34.** Estructura demasiado baja (menos de dos metros de altura en el lateral).

#### **Ciclo de cultivo**

En la zona se diferencian dos tipos de cultivo bajo cubierta: los cultivos de hoja (lechuga, espinaca, acelga, apio) y los cultivos de fruto (tomate y pimiento principalmente). Hay productores que diversifican la producción pero por lo general los invernaderos se destinan a un cultivo principal por ciclo de cultivo.



Foto 35. Sistema de montado de cubierta NO RECOMENDADO para la región patagónica.

Existen dos ciclos marcados: el ciclo otoño-invierno, en el cual se realizan cultivos de hoja, por lo general lechuga y apio y el ciclo de primavera-verano destinado tradicionalmente a los cultivos de fruto aunque en los últimos años se están extendiendo la superficie destinada a lechuga.

Debido a las condiciones lumínicas de la región no se aconseja realizar cultivos de fruto en el ciclo otoño-invierno. Durante este período, además, debido a la baja temperatura externa se dificulta la ventilación lo cual produce un aumento en la humedad relativa dentro del invernadero lo cual crea condiciones óptimas para el desarrollo de enfermedades. Todo esto se traduce en bajos rendimientos y problemas de calidad que pone en riesgo la rentabilidad del cultivo en esta época.

Para el ciclo primavero-estival, el trasplante de tomate y pimiento suele realizarse durante el mes de agosto lo cual requiere de aporte de temperatura mediante algún método de calefacción. Por lo general los requerimientos de calefacción se prolongan hasta fines de octubre para permitir un adecuado cuaje de flores. La cosecha se realiza a partir de la segunda quincena de noviembre prolongándose todo el verano hasta que el productor decida finalizar su cultivo previendo el tiempo necesario como para preparar el suelo e implantar el cultivo de hoja del ciclo otoño-invernal el cual se cosecha a partir del mes de mayo hasta julio.

#### ***Pautas básicas para el diseño de invernaderos en la región patagónica***

- Resistencia a los vientos

- Mayor captación de luz para los períodos de cultivo planificados.
- Prever superficie de ventilación para los períodos de mayor temperatura.
- Ajustes tecnológicos que permitan ahorro de energía (pérdidas de calor por inadecuados cerramientos, optimización del calor generado por el suelo, etc).
- Resistencia al peso de la nieve.

**Análisis de las estructuras de invernadero en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén (Censo 2007)**

*Objetivo*

Relevar la situación actual de la producción bajo invernadero en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén considerando aspectos dimensionales, constructivos y productivos.

*Materiales y métodos*

Se efectuó un relevamiento censal de los invernaderos durante el año 2007, considerando aspectos dimensionales y constructivos. Se relevaron 19 establecimientos que muestran que la superficie era de 11.73 ha los cuales se distribuían el 74% en Río Negro y 26% en Neuquén. Los datos registrados fueron: a) Datos de la propiedad y ubicación geográfica del predio según coordenadas GPS; b) Tipo, dimensiones y orientación de los invernaderos; número de módulos acoplados lateralmente; altura lateral y altura cenital del invernadero; c) Materiales de la estructura y cubierta; d) Tipo y dimensiones de la ventilación y e) Principales cultivos producidos.

En cuanto a los materiales utilizados para la cobertura de techos y laterales se registraron: tipo de material (rígido o flexible, espesor y aditivos); utilización de media sombra (tipo y ubicación respecto a la cubierta).

Para evaluar la funcionalidad de los invernaderos, se elaboraron los indicadores cuya descripción se encuentra en el Anexo Metodológico.

*Resultados del censo*

El mayor productor (2.32 Ha) se ubica en la localidad de Allen y se dedica al doble propósito de cultivo de hoja en invierno y vivero en primavera. La superficie promedio para el resto de los productores es de 4609 m<sup>2</sup>. A continuación se presenta un análisis descriptivo, para algunas variables seleccionadas.

En las estructuras prevalece la utilización del metal (78%) y polietileno térmico de 150µm de espesor. El predominio del techo curvo (CU, 80% de las estructuras), frente al techo capilla a dos aguas (CA) está relacionado a la mayor superficie de estructuras metálicas (Tabla 58).

**Tabla 58.** Estructura de los invernaderos según la superficie relacionada con el tipo de techo

Tipo de techo	Superficie de Invernaderos	Altura Modulo				Extension Modulo			
		Central		Lateral		Largo		Ancho	
		m <sup>2</sup>	%	m	%	m	%	m	%
CU	94387	80,5	3,59	75,6	2,19	76,1	78,44	75,6	6,59
CA	22923	19,5	3,62	24,4	2,14	23,9	78,82	24,4	10,10
									33

Habría que destacar que en promedio, el Ancho del módulo es significativamente mayor en techos de tipo CA que CU; testeado mediante Tukey, con un 5% de significación (Tabla 59). También se observa que predominan los invernaderos de tres módulos acoplados (60% de CU y 100% de CA).

**Tabla 59.** Estructura de los invernaderos según los módulos acoplados y el tipo de techo.

Módulos acoplados	Tipo de techo	Ancho módulo (m)		Ancho total (m)		Largo total (m)		Superficie (m <sup>2</sup> )	
		%	promedio	promedio	promedio	promedio	promedio	promedio	promedio
			CU	CA	CU	CA	CU	CA	CU
1-3	60,4	100	6,83	10,11	17,92	16,24	76,03	78,82	4293,34
4-6	32,1	-	6,12	-	24,93		87,58	-	2153,06
7-9	5,7	-	7,27	-	56,07		50	-	2803,33
>9	1,8	-	5	-	75		85	-	6375

En cuanto a las medidas, en el ancho por módulo predomina la mayor distancia el CA, mientras que en ancho total del invernadero la predominancia es para el CU por tener mayor cantidad de módulos acoplados. Para el largo de módulo las medidas son muy similares.

Aunque los datos aquí presentados muestran que para el momento del censo los cultivos predominantes eran tomate y pimiento (Tabla 60), en años posteriores se incrementó la superficie cultivada con hoja (lechuga principalmente), y paulatinamente tendieron a desaparecer los cultivos bajo cubierta de especies de frutos, esto está relacionado a dos factores incidentes: por un lado el aumento del costo del combustible y por otro incremento de superficie hortícola de la región que muestra una notoria expansión con tecnología propia de productores bolivianos que han dejado de armar invernaderos tradicionales en la región para ir optando por estructuras más económicas, generalmente de madera, multicapilla, más bajas y con deficiente manejo del clima en relación a las características climáticas locales.

Con respecto a la ventilación, podemos observar que la misma es exclusivamente lateral. En cuanto a la relación superficie ventilación/superficie de suelo (Tabla 61), el 41,51% de CU presentan una relación entre 0.15 a 0.20 y el 84,24% de CA muestra

una relación entre 0.20-0.25 lo cual indica que la mayor parte de los invernaderos regionales presentan ineficiente de ventilación.

**Tabla 60.** Distribución de la superficie de Cultivos en los invernaderos según el tipo de Techo.

Cultivos	Tipo de Techo (%)		Superficie (mts)	
	CU	CA	CU	CA
Apio	2,79	0	3276	0
Pimiento	11,52	3,32	13524	3900
Berenjena-Pimiento	1,56	0	1836	0
Tomate	24,88	11,62	29190,5	13635
Tomate-Pimiento	0	1,66	0	1950
Plantines	18	1,77	21116	2088
Melón	1,87	0	2205	0
Lechuga	2,99	0	3510	0
Petunia	0,73	0	864	0
Chaucha	0	1,15	0	1350
Sin Cultivo S/C	16,08	0	18865,5	0
Totales	80,5	19,5	94387	22923

**Tabla 61.** Relación de Superficie de ventilación según el Tipo de Techo.

Relación Sup.ventilación/Sup. INV	CU		CA		
	(%)	Frecuencia	%	Frecuencia	%
<10		2	3,77	0	0
10-15		13	24,53	2	11,76
15-20		22	41,51	0	0
20-25		8	15,09	15	88,24
25-30		2	3,77	0	0
>30		6	11,33	0	0

**Anexo I: Fotos**



**Foto 36.** Invernadero metálico triple capilla. Ventilación por cortinas de enrollar en las 4 caras. Allen, Río Negro.



**Foto 37.** Invernadero metálico de cuatro módulos de techo curvo. Ventilación por cortinas de enrollar en las 4 caras. Allen, Río Negro.



**Foto 38.** Invernadero metálico triple capilla con malla rompevientos en las caras oeste y sur. INTA EEA Alto Valle. Allen, Río Negro.



**Foto 39.** Interior invernadero metálico triple capilla con doble capa de techo. INTA EEA Alto Valle. Allen, Río Negro.



**Foto 40.** Invernadero de madera con techo a dos aguas o capilla. Detalle del desagote de canaletas. Viedma. Río Negro.

### Situación actual de la producción en invernaderos en la provincia de Santa Cruz y Tierra del Fuego / J. Mora, E. Miserendino, E.

#### *Introducción*

El desarrollo de cultivos protegidos en las provincias de Santa Cruz (SC) y Tierra del Fuego (TF) se inició en la década de los '90. La producción más importante en esta zona es la de cultivos de hoja como lechuga, acelga, perejil, radicheta y otros en menor escala. Igualmente el cultivo de la frutilla se comienza a manifestar como el segundo cultivo de importancia desde hace 5 años. Estos cultivos se producen en invernaderos sin calefacción activa, siendo el período de producción de septiembre hasta abril.

Los cultivos desarrollados no presentan rentabilidades como para permitir la incorporación de sistemas activos de calefacción. Sumado al hecho de la escasez de luz natural en los meses iniciales y finales de la temporada.

Los sistemas de cultivos protegidos en gran parte de la Patagonia permiten obtener primicias y ultimicias, pero en SC y TF los invernaderos son una herramienta fundamental para el funcionamiento de los sistemas hortícolas de la región, ya que sin éstos la producción se ve limitada a escasas especies. Esta limitante se debe principalmente a las bajas temperaturas ya que no hay meses libres de heladas.

Para el diseño de las estructuras de invernadero, un factor condicionante es el viento. Este factor afecta a toda la región, las velocidades medias anuales son de 20,4km/h, pero en algunos lugares son frecuentes las ráfagas de 130 km/h. Estos

vientos afectan a los invernaderos causando daños principalmente en la cubierta y también en la estructura (Mora y col. 2005).

Debido al efecto del viento, el tipo de invernadero que se ha desarrollado tradicionalmente se caracteriza por tener una estructura baja, de madera, donde el techo posee una sobrecarga de la misma, ya que el productor acostumbra a sujetar el polietileno con tirantes. Estas estructuras son adaptaciones al invernadero mediterráneo, recomendado principalmente para zonas cálidas o templadas (Antón Vallejo, M<sup>a</sup>. Asunción. 1.994). Una de las principales limitantes de este tipo de invernaderos es la ventilación.

Los antecedentes del desarrollo de la horticultura bajo cubierta, es diferente en ambas provincias. Sin embargo ya en 1.990 se comienzan a incorporar estructuras de protección con cubierta de polietileno. Desde entonces la actividad se caracteriza por tener un comportamiento cíclico, respondiendo principalmente a los cambios económicos, por ejemplo: cuando el sector industrial y la economía en general se encuentra en alza, la mano de obra y los "horticultores" tienden a desaparecer y se vuelcan a actividades más rentables y de menor riesgo.

Según información del Instituto de desarrollo Agropecuario del Gobierno de Chile (INDAP), en el año 1.996 la producción de hortalizas bajo cubierta sumada entre Río Grande y Ushuaia (las dos localidades más importantes de Tierra del Fuego) era de 0,5 y 0,24 hectáreas respectivamente (INDAP 1.996).

En la provincia de Santa Cruz la actividad hortícola bajo cubierta tiene un "desarrollo" de más de treinta años, principalmente asociada a la periferia de las ciudades con pequeños núcleos permanentes de producción y otros productores "temporales"<sup>2</sup>. En el año 1.996 se registraba ya una superficie bajo cubierta de 11 hectáreas (INDAP, 1996).

En ambas provincias, existen condiciones particulares que favorecen la producción de determinados cultivos: el fotoperíodo, las bajas temperaturas invernales, escasa presencia de patógenos, permitirían el desarrollo de productos diferenciados y cubrir la demanda de nichos de mercados exigentes.

Si bien existen tecnologías probadas para las producciones mencionadas, no se han desarrollado estudios más acabados sobre estructuras y sistemas más modernos de producción. No se registran trabajos de investigación o estudios de caracterización de las estructuras de los invernaderos de la región patagónica.

Es relevante mencionar estos aspectos, ya que año a año la población local va creciendo, al igual que el surgimiento y consolidación del turismo como actividad, representa una alta demanda de productos locales.

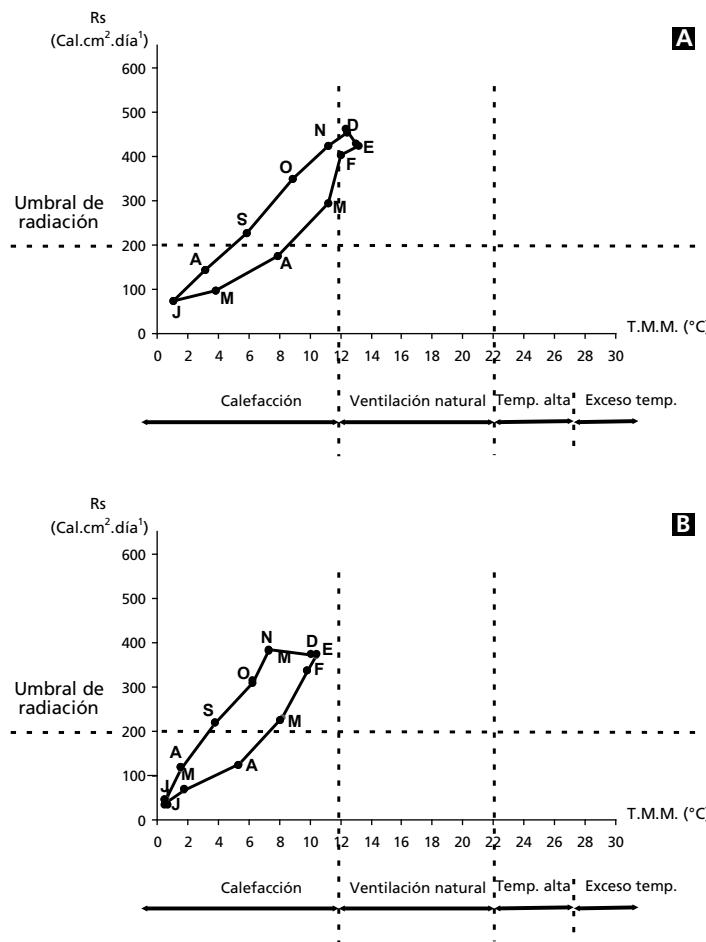
<sup>2</sup>Se utiliza el concepto "productores temporales" para identificar a aquellos que desarrollan la actividad por un corto período, sin establecerse como productores permanentes.

**Características climáticas de la zona****Tabla 62.** Datos climáticos para Río Gallegos. (FAO 1.999).

Mes	ETo-PenMon mm/día	Radiación Mj/m <sup>2</sup> /día	Insol. horas	Viento Km/hora	H. R. %	T. Med. °C	T. Min. °C	T. Max. °C
Enero	4,5	17,9	5,5	25,2	63	12,6	6,9	18,3
Febrero	4,1	17,0	6,6	23,0	67	11,55	5,1	18
Marzo	3,2	11,9	5,2	20,9	71	10,5	3,7	17,3
Abril	2,1	7,4	4,5	17,3	72	7,4	1,6	13,2
Mayo	0,9	4,1	3,5	15,1	84	3,25	-1,2	7,7
Junio	0,5	2,8	2,9	13,0	85	0,6	-3,3	4,5
Julio	0,6	3,3	3,1	18,0	88	0,9	-2,7	4,5
Agosto	0,9	6,0	4,2	1,8	83	2,7	-1	6,4
Septiembre	2	9,7	4,7	20,9	74	5,4	0	10,8
Octubre	3,5	14,6	5,7	23,0	65	8,35	1,6	15,1
Noviembre	4,3	17,9	6	25,9	64	10,9	4,4	17,4
Diciembre	4,5	19,1	5,9	27,9	64	11,9	5,8	18
ANUAL	2,6	11,0	4,8	19,3	73,3	7,2	1,7	12,6

**Tabla 63.** Datos climáticos para Río Grande. (FAO 1.999).

Mes	ETo- PenMon mm/día	Radiación Mj/m <sup>2</sup> /día	Insol. horas	Viento Km/hora	H. R. %	T. Med. °C	T. Min. °C	T. Max. °C
Enero	3,22	15,6	3,9	20,2	72,0	10,25	5,3	15,2
Febrero	2,58	14,2	4,6	20,2	81,0	9,7	4,5	14,9
Marzo	1,72	9,8	3,6	15,1	83,0	8,05	3,5	12,6
Abril	0,94	5,4	2,4	15,1	89,0	5,25	0,9	9,6
Mayo	0,32	2,9	2	12,3	95,0	1,65	-1,9	5,2
Junio	0,33	1,7	1,1	13,7	91,0	0,45	-2,5	3,4
Julio	0,2	2,1	1,4	10,8	95,0	0,5	-2,2	3,2
Agosto	0,53	4,9	3,2	13,7	90,0	1,45	-1,8	4,7
Septiembre	1,17	9,2	4,7	14,4	84,0	3,65	-0,2	7,5
Octubre	2,23	13,1	4,8	21,6	75,0	6,15	1,8	10,5
Noviembre	2,62	16,2	4,9	20,2	75,0	7,2	2,7	11,7
Diciembre	3,09	15,7	3,5	20,2	73,0	9,9	5,3	14,5
ANUAL	1,6	9,2	4,8	16,4	83,6	5,4	1,3	9,4

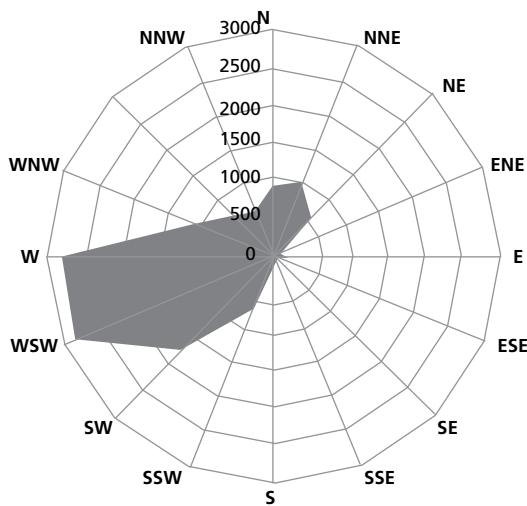


**Figura 72.** Climogramas de la radiación solar media diaria mensual ( $\text{Cal m}^2 \text{día}^{-1}$ ) y la temperatura media diaria mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) de las localidades de Río Gallegos (a) y Río Grande (b).

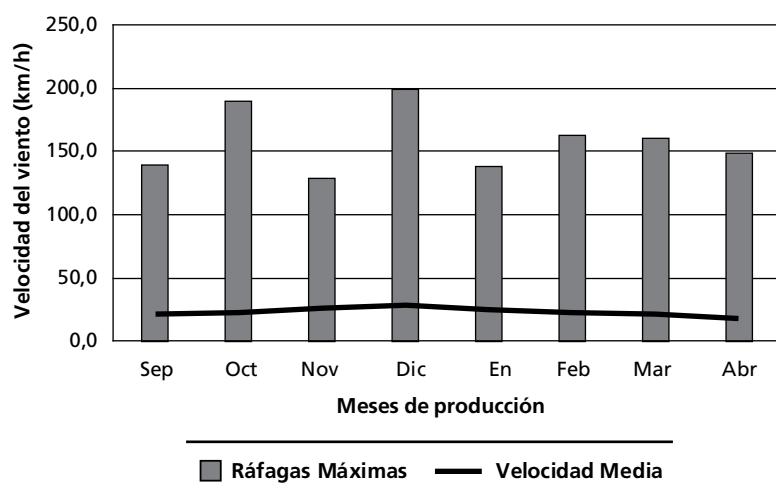
La época en que se desarrollan los cultivos en esta región, se encuentra acotada principalmente al período primavera verano (Septiembre - abril). En la zona geográfica donde se hizo el estudio el período las temperaturas son extremadamente bajas y la radiación solar varía en promedio; por ejemplo en Río Gallegos de 19,1 a 2,8 MJ/ $\text{m}^2/\text{día}$  entre diciembre y mayo respectivamente (FAO 1.999 Cropwat ver. 4.3).

En las Tablas 62 y 63 se presenta la información promedio de variables climáticas para dos localidades, Río Gallegos (63% de la superficie bajo invernaderos) y Río Grande (10% de la superficie cubierta), en las que se puede observar una caracterización de ellos.

Número de datos por dirección del viento (1970-2007)



**Figura 73.** Orientación predominante de los vientos. Servicio Meteorológico Nacional dependiente de la Fuerza Aérea Argentina, Oficina Río Gallegos (SMN- OF. RG).



**Figura 74.** Velocidades medias y máximas del viento para los meses de producción.

#### Cuadrante de vientos (CV %)

De 16 orientaciones posibles del viento, analizadas para la ventana de tiempo 1970 – 2007, se obtuvo que el 21% (2838 datos) del total (13531), provienen de la orientación O-SO y más del 50% son predominantes del cuadrante general SO (Figura 73).

#### Velocidad del viento VV ( $m s^{-1}$ )

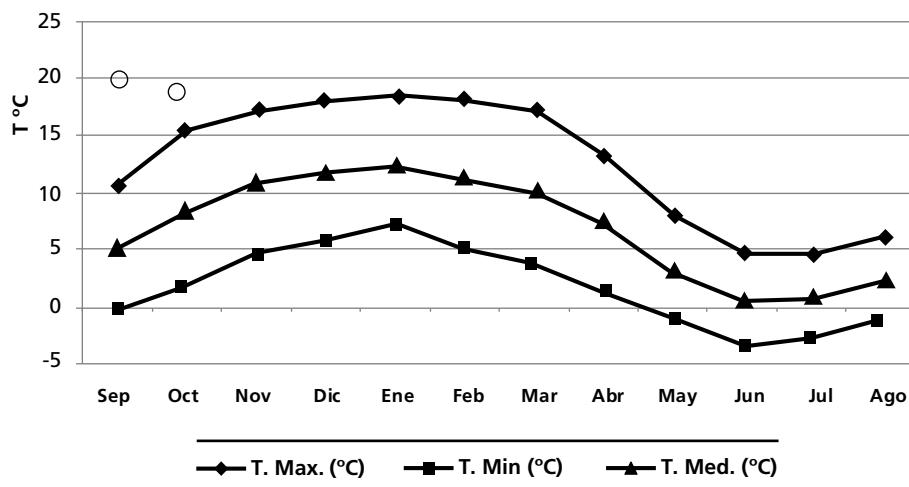


Figura 75. Temperaturas medias históricas (FAO, 1.999).

De la base de datos proporcionados por SMN- RG., se determinaron valores medios de velocidad del viento, para un período de 60 años, para las cuatro estaciones (tabla 64). A su vez, en la figura 74 se presenta la velocidad media del viento (FAO, 1999) con los registros máximos de velocidad de viento proporcionados por el SMN-RG, durante el período 1981-2000 para el período de producción de nuestra zona.

#### Temperatura –T- (°C):

En la figura 75 Se presenta la evolución de las temperaturas medias a lo largo de la temporada de producción. (FAO 1.999).

Tabla 64. Velocidad media del viento por estación 1941-2000. (SMN- OF. RG).

Estación	V. media Km./h	m/s
Invierno	21	5,833
Verano	31	8,611
Primavera	29	8,056
Otoño	23	6,389

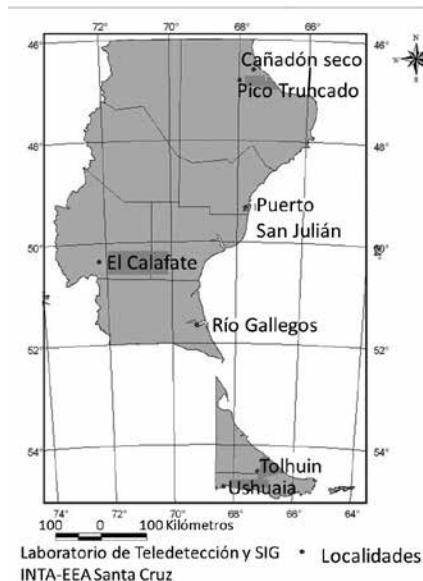
#### Objetivo

El objetivo de este trabajo fue relevar la situación de la producción de cultivos forzados en la provincia Santa Cruz y Tierra del Fuego, considerando aspectos estructurales y climáticos de los invernaderos.

#### Metodología

La metodología consistió en efectuar un relevamiento, mediante censo y mediciones, en establecimientos dedicados a la producción bajo invernadero en la pro-

vincia Santa Cruz y Tierra del Fuego. (Estos datos han sido recogidos en la planilla construida por el programa nacional, para el desarrollo del diagnóstico regional). En la Tabla 65 se observan las localidades censadas en ambas provincias, cuya distribución espacial se puede apreciar en la figura 76.



**Figura 76.** Ubicación geográfica de las localidades que se consideraron en el censo de estructuras de invernaderos.

**Tabla 65.** Localidades censadas en cada provincia.

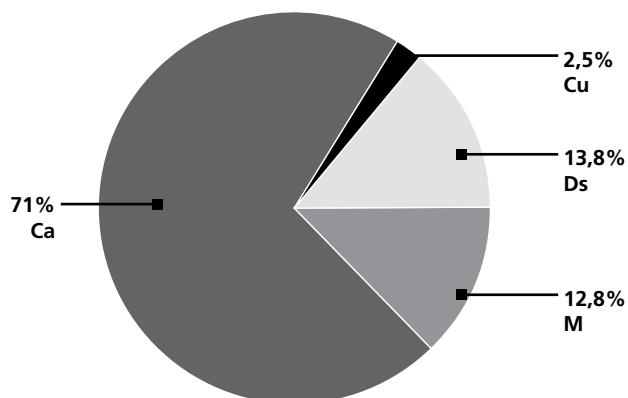
Tierra del Fuego	Santa Cruz
Ushuaia	Las Heras
Tolhuin	Pico Truncado
Río Grande	Cañadón Seco
	Caleta Olivia
	Puerto Deseado
	Puerto San Julián
	Río Gallegos
	El Calafate

Se censaron las diferentes estructuras considerando aspectos dimensionales y constructivos de los invernaderos.

Los datos recogidos en este trabajo, fueron interpretados mediante la utilización de indicadores de relación, de dimensiones, de materiales, de orientación y climáticos. Con respecto a los indicadores, se los agrupó en 4 grupos a fin de determinar las características generales y específicas de la arquitectura de los invernaderos de

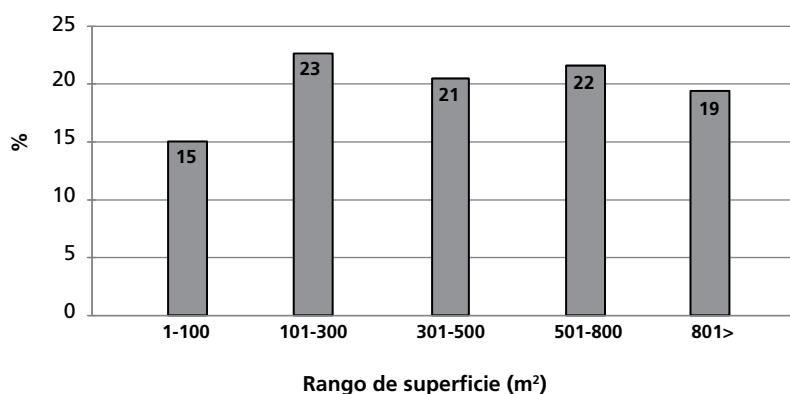
la zona, con el objetivo de determinar su adecuado funcionamiento. Por otro lado se incorpora como variable las características de clima a fin de determinar su efecto en estas estructuras.

Los grupos de indicadores elaborados son: a) Indicadores de Relaciones (de 1 a 6), b) Indicadores de dimensiones (de 7 a 10); en el caso particular de estos dos grupos inciden en la ventilación, pérdidas de calor, inercia térmica, c) Indicador de materiales (11 a 14) que incide sobre pérdidas de calor y ahorro energético, y por ultimo d) Indicadores de orientación y climáticos (15 a 18) que intervienen en las pérdidas de calor y renovación de aire. Para mayor información sobre los indicadores, los mismos se detallan en el Anexo Metodológico.



**Figura 77.** Porcentaje del tipo de estructuras de invernaderos sobre la base de la superficie total cubierta.

Ca: Capilla; Cu: Techo Curvo; Ds: Diente de Sierra y M: Macrotúnel



**Figura 78.** Porcentaje de invernaderos por rango de superficie.

## Resultados

**Tabla 66.** Distribución de la Superficie de invernaderos de las localidades de Santa Cruz y Tierra Del Fuego.

Tierra del Fuego		Santa Cruz	
Localidad	Superficie (ha)	Localidad	Superficie (ha)
		Pico Truncado	0,24
Ushuaia	0,21	Cañadon Seco	0,11
Tolhuin	0,14	Caleta Olivia	0,76
Río Grande	0,8	Puerto San Julián	0,4
		Río Gallegos	5,27
		El Calafate	0,43
Total TF: 1,15		Total SC: 7,2	

La superficie bajo cubierta en las provincias de SC y TF es de aproximadamente 8,4 hectáreas, concentrándose la mayor parte en SC alcanzando el 86%, centralizándose principalmente en el cordón hortícola de la ciudad de Río Gallegos (63%). En el Tabla 66 se puede apreciar la distribución de las superficies bajo cubierta en cada una de las localidades censadas.

### *Superficies ocupadas por cada tipo de invernadero*

El invernadero tradicional de la zona (tipo capilla o a dos aguas de estructura de madera) representa el 71% del total de la superficie cubierta (5,93 hectáreas). Mientras que solo un 29% (2,4 hectáreas) al resto de los tipos: techo curvo (Cu); Macrotunel (M); Diente de sierra (Ds), localmente llamado a un agua (Figura 77).

Para lograr una mejor visualización de los resultados en cuanto al porcentaje de invernaderos, y su distribución en rangos de superficies, en la Figura 78 se muestran los mismos con los siguientes rangos (m<sup>2</sup>): 1-100; 101- 300; 3001-500; 501-800 y 801 >.

Los invernaderos en el rango inferior a 1-100 m<sup>2</sup>, corresponden a huertas familiares y a pequeños productores que comienzan en la actividad hortícola o florícola.

### *Cultivos desarrollados bajo cubierta en la zona*

Del total de la superficie cultivada bajo cubierta, el cultivo más importante es la lechuga con 4.1 ha si bien en menor escala, le sigue el cultivo de frutilla con 0,7 hectáreas. Se destaca que unas 0,6 ha al momento del censo, se encontraban sin uso definido, aunque corresponde a un sistema netamente hortícola.

La acelga, espinaca y perejil ocupan el cuarto nivel de importancia con 7,7%, 3,7% y 2,9%, respectivamente, sobre la superficie total bajo cubierta.

Igualmente se producen cultivos como la radicheta, el tomate, la rúcula (incluidos dentro de "otros"), que lentamente con el paso de los años van ocupando un lugar dentro de los sistemas de producción. Tabla 67.

**Tabla 67.** Superficie de cada uno de los cultivos expresada en metros cuadrados, hectáreas y porcentaje da cada uno respecto a la superficie total.

Superficie cultivada			Cultivo
%	Superficie Ha	Superficie m <sup>2</sup>	
48,6	4,1	40620,31	Lechuga
7,7	0,6	6450,44	Acelga
2,9	0,2	2389,87	Perejil
1,9	0,2	1562,64	Radicheta
8,7	0,7	7278,78	Frutilla
3,7	0,3	3107,95	Espinaca
1,2	0,1	969,50	Flores
1,9	0,2	1608,38	Tomate
6,9	0,6	5753,79	Sup. Sin sembrar
16,6	1,4	13915,66	Otros
100	8,4	83657,32	Total

*Indicadores de relaciones***1) Número de invernaderos acoplados lateralmente /largo de cada invernadero - NA/L- (M<sup>-1</sup>)**

Se aclara que este indicador no se considera importante para la región, ya que solo existen 10 invernáculos acoplados, de un total de 172. En la tabla 68 se muestra la variación del indicador a medida que el largo aumenta.

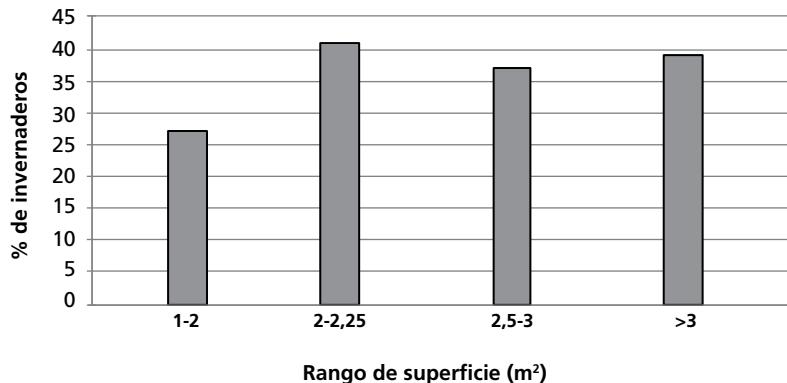
**Tabla 68.** Relación de número de invernaderos acoplados lateralmente y el largo de cada uno.

Nº de Módulos Acoplados	Largo	NA/L
4	13,7	0,29
3	22	0,14
2	28	0,07
3	42	0,07
2	45	0,04
3	48	0,06
4	49	0,08
2	50	0,04
2	52	0,04
2	92,2	0,02

**2) Superficie de Cubierta plástica /superficie de suelo - SC/SS- (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)**

El valor medio hallado para esta relación es de 1,49. Encontrándose entre valores mínimo y máximo de 0.7 a 2.3.

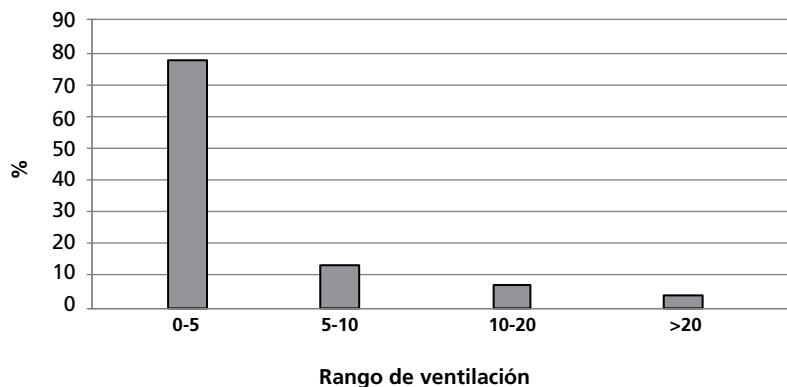
Para mejorar la interpretación de los datos se realizó una clasificación donde se agruparon aquellos invernáculos que tenían las mismas características relacionadas a este indicador. La clase 1 correspondía a los invernáculos que presentan un índice menor a 1 la clase 2 menores a 2 y 3 a menores a 3. (Tabla 69).



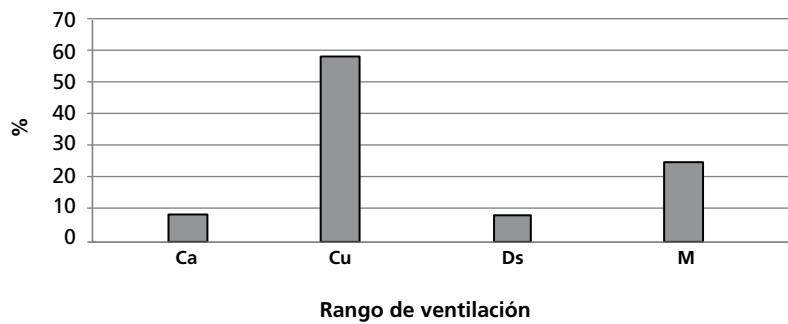
**Figura 79.** Porcentaje de invernaderos por clase del indicador VI/.

**Tabla 69.** Superficie de Cubierta plástica /superficie de suelo - SC/SS- (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>), por clase de invernáculo.

Rangos	Indicador SC/SS (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) medias	Desvío Standard	Nº de inv.	% de inv.
1 (<1)	0,7	0,18	21	12,2
2 (1 a 2)	1,5	0,20	132	76,7
3 (>2)	2,3	0,23	19	11,0
Total general	1,5	0,42	172	100,0



**Figura 80.** Distribución según rangos de tasa de ventilación.



**Figura 81.** Porcentaje de ventilación según tipo de invernadero.

### 3) Volumen total del invernadero/superficie de suelo - VI/SS- ( $m^3/m^2$ )

Esta relación indica la inercia térmica del invernadero. Para evidenciar mejor los resultados se muestran los valores analizados en la tabla 70. Para facilitar su análisis, se agruparon en 4 tipos de invernaderos según el rango del indicador. En la figura 79 se visualizan los porcentajes de cada tipo sobre un total de 172 invernaderos.

**Tabla 70.** Volumen total del invernadero/superficie de suelo por tipo de invernadero

Rango del indicador VI/SS ( $m^3/m^2$ )	Promedio de Indicador VI/SS- ( $m^3/m^2$ )	Desvió Standard	N° de inv.
1 - 2	1,8	0,2	18
2 - 2,5	2,2	0,2	66
2,5 - 3	2,7	0,2	65
>3	3,4	0,3	23
Total	2,5	0,5	172

### 4) Superficie de ventana/Superficie de suelo – SV/SS- ( $m^2/m^2$ )

En este punto se aclara que 12 de los 136 invernáculos analizados no tenían ventanas. El promedio general de esta tasa de ventilación que surge del censo es de 3,56% y una variabilidad superior al 164%. Dada la alta variación observada y para mejorar la interpretación del indicador, se consideró apropiado hacer una clasificación, que agrupa los invernaderos por rangos del indicador semejantes. Por ejemplo el rango de 0 a 5 reúne invernáculos que tenían una SV/SS con valores entre 0 y 5. Figura 80.

En la figura 81 se presenta el porcentaje de ventilación, asociados al tipo de estructura.

### 5) Superficie ventana cenital/Superficie de suelo -SVC/SS- ( $m^2/m^2$ )

Para este indicador, en la zona no existen invernáculos con ventilación cenital, por lo tanto no se pudo realizar ningún análisis. A su vez, la ventilación

total corresponde a la ventilación lateral, por lo que el último indicador tampoco se tomará en cuenta.

#### *Indicadores de dimensiones*

##### *Número de Invernaderos Acoplados lateralmente NA*

Se observó una escasa cantidad de invernaderos acoplados, solo el 5,8% de los invernaderos de ambas provincias que se encuentran acoplados, siendo el máximo de acoplamientos de 4 módulos.

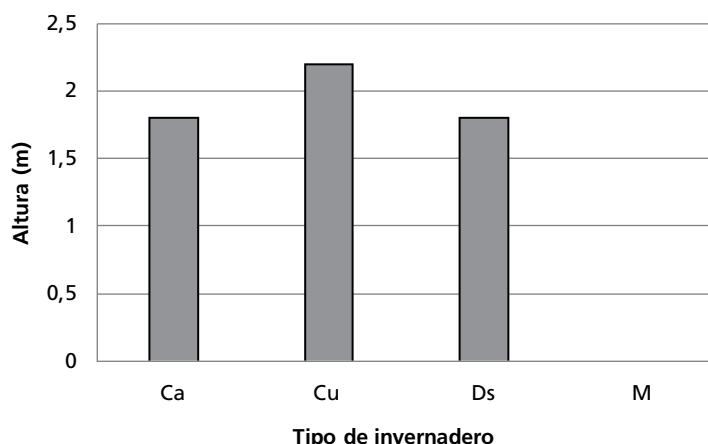
##### *Altura media de la ventana cenital – HVC- (m)*

Como se mencionó en el indicador 5, no se registra este sistema de ventilación en las estructuras de las provincias censadas.

##### *Altura lateral – HL- (m)*

Para poder interpretar los valores de altura lateral, se elaboró una escala que reúne a los invernaderos en tres rangos<sup>3</sup> de alturas: 0-1, 1-2 y de 2-3 metros.

En la tabla 71 se muestra la cantidad y porcentaje de invernáculo según el rango de altura y el promedio de la misma. En la figura 82 se muestra para cada tipo de invernáculo la altura media del lateral.



**Figura 82.** Altura lateral media para las diferentes estructuras.

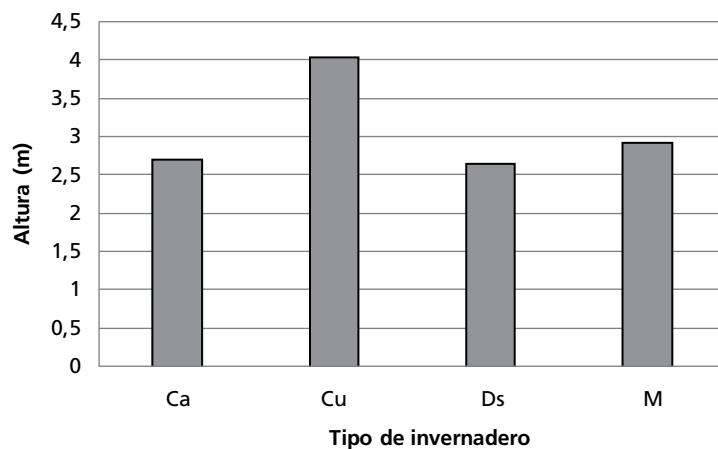
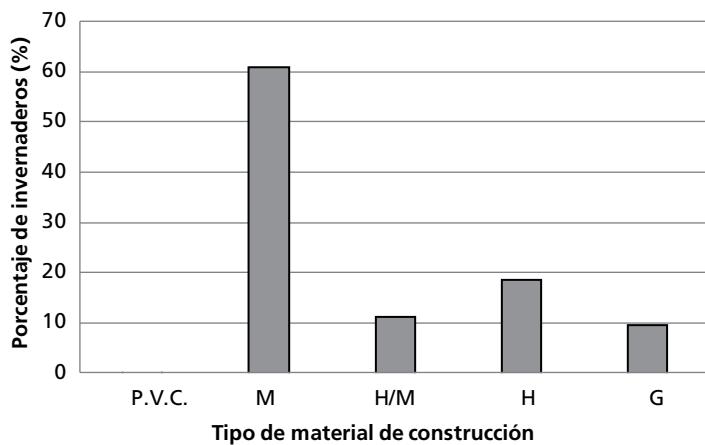
<sup>3</sup>La elaboración de los rangos considera los valores comprendidos entre el extremo inicial sin incluir el superior.

**Tabla 71.** Cantidad y porcentaje de invernaderos según rango de altura del lateral y sus medias.

Rangos de H lateral	Nº Invernaderos	% de invernaderos	Altura media (m)
0 – 1	22,0	12,8	0,0
1 – 2	96,0	55,8	1,7
2 – 3	54,0	31,4	2,1
Total general	172,0	100	1,6

*Altura cenital del invernadero - HC - (m)*

En la tabla 72, para mejorar la interpretación de los datos se elaboró una escala con rangos de altura cenital. En la Figura 83 se presenta la altura cenital promedio y su desvío según el tipo de invernáculo.

**Figura 83.** Altura cenital promedio por tipo de estructura de invernadero**Figura 84.** Porcentaje de invernaderos de acuerdo al material de construcción.

**Tabla 72.** Altura cenital promedio y porcentaje de invernaderos por clase de altura central.

Rangos de H cenital (m)	X altura (m)	% de invernaderos
1,5-2,5	2,2	34,9
2,5-3,5	2,9	48,8
>3,5	3,8	16,3
Total general	2,8	100,0

#### *Indicadores de materiales*

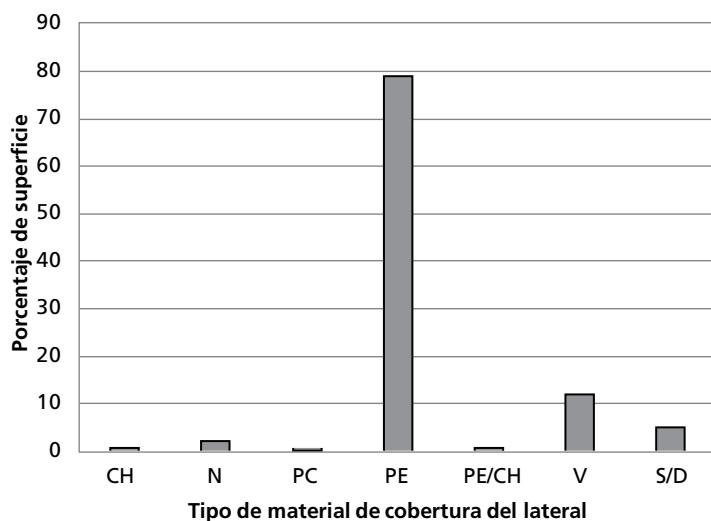
##### *Material de construcción –MC- (%)*

Se consideró el porcentaje de invernaderos, (sobre la base de la superficie cubierta) de acuerdo al tipo de material de construcción de la estructura, ya sea en PVC, Madera (M), Hierro (H), combinaciones de Hierro y Madera (H/M), y en Hierro Galvanizado (G) según se puede apreciar en la figura 84.

El cálculo de este indicador se realizó en base al material de los postes que sostenían las estructuras.

##### *Material de cobertura de techos –MCT- (%)*

En la tabla 73 y en la figura 85, se presentan los resultados sobre el tipo, calidad, cantidad y espesor de los materiales de cobertura utilizados en los techos.

**Figura 85.** Porcentaje de superficie según tipo de cubierta del lateral.

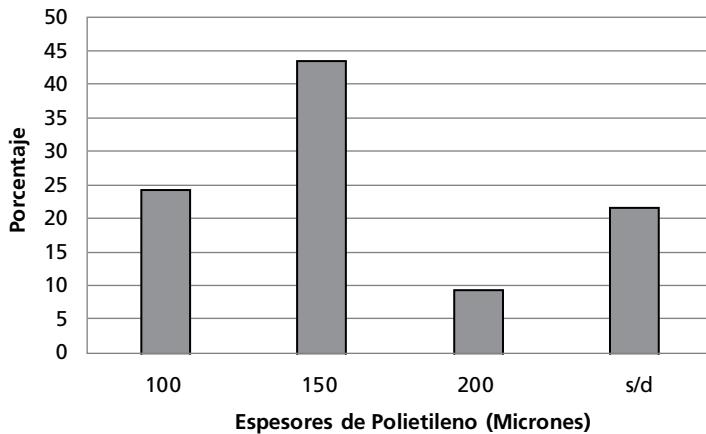
Referencias: CH: Chapa; N: Sin cobertura; PC: Policarbonato alveolado; PE: Polietileno; PE/CH: Polietileno y Chapa; V: Vidrio; S/D: Sin datos

**Tabla 73.** Superficie de m<sup>2</sup> cubiertos y porcentaje correspondiente a cada material de cobertura.

Tipo de Material de cobertura del techo	sup. (m <sup>2</sup> )	%
Sin datos	962,6	1,2
N	2465,0	2,9
Policarbonato	585,0	0,7
Polietileno	70109,2	83,9
PVC	578,1	0,7
Vidrio	8876,6	10,6
Total general	83576,4	100,0

*Tipo de cobertura en paredes (laterales) (L- %)*

En las figuras 85 y 86 se representan los datos del tipo de cobertura y espesor de Polietileno utilizados en los laterales de los invernáculos de la zona.

**Figura 86.** Porcentaje de superficie según micronaje del polietileno*Utilización de media sombra –MS – (%)*

Un bajo porcentaje de superficie cubierta usa mallas como sistema de protección (9,18% sobre la superficie total). La malla utilizada en el 100 por ciento de los casos corresponde al color negro, con un promedio de índice de obstrucción de 0,68. La posición de la malla en un 68,9% de los casos usa este material en la parte superior del techo.

*Indicadores de orientación y climáticos**Orientación del eje longitudinal del invernadero –OEL - (N-S E-O)*

En el estudio, aparecen orientaciones intermedias, para una mejor interpretación, se agruparon las superficies cubiertas en dos orientaciones principales Norte y Sur (N-S) y Este y Oeste (E-O). En la Tabla 74 se presentan estas superficies y su porcentaje.

**Tabla 74.** Superficie cubierta ( $m^2$ ) y porcentaje según orientación.

Orientación	Superficie Cubierta	
	$m^2$	%
E-O	30908,04	37,0
N-S	52668,37	63,0
Total general	83576,41	100,0

Los indicadores climáticos fueron descriptos al comienzo en la caracterización climática.

### **Discusión**

La zona de estudio se caracteriza por presentar dos aspectos climáticos que limitan la producción de hortalizas, el viento y las temperaturas.

Los invernáculos que predominan son tipo capilla. Esta estructura le ha resultado al productor adecuada ya que el sistema de fijación del polietileno disminuye los daños ocasionados por los fuertes vientos; a ello debe sumarse que tienen un costo de inversión inicial menor respecto del resto de las estructuras. También se ajusta a los cultivos de hoja tradicionalmente desarrollados en la zona.

El cultivo predominante es la lechuga y en segundo lugar la frutilla. Si bien hay otros cultivos (incluidos en otros), el crecimiento de estas producciones está fuertemente vinculado al aumento del turismo (principalmente europeo).

La producción local aporta solo un 5 % a la demanda de productos de Río Gallegos (principal ciudad de la Provincia de Santa Cruz) en el período de producción que comprende los meses de Octubre - Marzo (Quargnolo E. y Williams M. 1.996), el faltante de primavera verano y los meses de invierno son cubiertos por producción del norte del país. Actualmente la producción se caracteriza por una reducción de 3 hectáreas de invernaderos destinadas a la producción de hortalizas; las causas de esta disminución podrían asociarse básicamente a la falta de estructuras de invernaderos adecuados.

El invernadero predominante en nuestra región (tipo capilla o a dos aguas en madera), debieran denominarse abrigos climáticos, considerando los aportes de A. Matallana y J. Montero (1995) que concluyen que el tipo de invernadero en madera a dos vertientes (capilla) no responden a una definición estricta de invernadero. En estas estructuras, por las condiciones expuestas, la regulación climática no es posible a menos que se piense en una modificación de la misma. No obstante cumplen una función elemental en estos sistemas de producción, adelantando, prolongando y en gran parte de la Patagonia permitir producir.

A continuación se presentan una discusión sobre alguno de los indicadores y resaltando la importancia de aquellos que resultan más significativos para la zona.

- **Superficie Cubierta/Superficie de Suelo ( $m^2/m^2$ ):** Los resultados indicarían que las pérdidas de calor por conducción en la mayoría de los invernáculos de la zona no serían elevadas, ya que la altura de las estructuras es relativamente

baja. (Esto significa que las estructuras de la zona tienen una baja exposición del material de cobertura).

- **Volumen del Invernadero/Superficie de Suelo- ( $m^3/m^2$ ):** Con respecto a este indicador, que da idea de la inercia térmica, se muestran valores muy bajos, 2.2 en 66 invernaderos y 2.7 en 65 invernaderos, siendo que esta relación debería ser 3. Por consiguiente resultarían valores en los que hay una mayor inercia térmica, incrementando los problemas de alta variación térmica y de mayor incidencia de las bajas temperaturas.
- **Superficie de Ventilación/Superficie de Suelo ( $m^2/m^2$ ):** Si bien no existe bibliografía con evaluaciones realizadas en Patagonia sur sobre la tasa de ventilación optima, se cree que los valores sugeridos como adecuados en la bibliografía serían muy elevados para esta zona, ya que los tipos de invernáculos que existen en Patagonia tienen tasas de ventilación muy bajas, no obstante las producciones se realizan con normalidad.

De los datos se destaca que un 79 % de los invernáculos tienen una relación de entre 0 y 5, lo cual estaría muy por debajo de lo aconsejable. Por otro lado los invernaderos curvos son los que presentan la mayor relación 14,7 mientras que las estructuras tipo capilla tienen una tasa inferior a 2,5.

Es importante señalar, que en el censo no se registraron como áreas de ventilación las aberturas que sirven como entrada y salida (puertas portones). Pero se observó y registró la existencia de un espacio sin cubierta que se genera a la altura de la solera en ambos laterales del invernadero. Este espacio se genera por la forma de colocación del polietileno del techo, el mismo se apoya sobre tirantes de 2"x2" distanciados aproximadamente 1,2m, luego sobre el polietileno se vuelve a colocar tirantería de 2"x2" ,entre los tirantes anteriores, para asegurar la tensión y fijación del polietileno. Este sistema es muy similar al invernadero del sur de Portugal, mencionado por Antón A. (1994). Aunque se especula que esta falta de hermeticidad sustituiría la escasa ventilación de los invernaderos, ya que cuando se conjugan, en los meses más cálidos, altas temperaturas y vientos extremos, se evita abrir las escasas ventanas por riesgo de daño en el polietileno.

- **Naves Acopladas:** los valores que se dan para este indicador son muy bajos, ya que es poco común la práctica de acoplar invernáculos. Se debe aclarar que los productores se muestran renuentes a esta práctica, para evitar los daños que podrían acontecer de una mayor superficie de exposición de la cobertura al viento.
- **Altura lateral (m):** Este indicador estaría relacionado con el indicador SC/SS- ( $m^2/m^2$ ). A continuación se detalla el resultado, para tener una idea ajustada sobre el indicador. La menor altura promedio se dio en tipo macrotúnel. La mayor altura promedio se detecta en invernaderos curvos. El promedio general baja respecto de los valores parciales debido a que en el análisis se incorpora a los invernaderos tipo macrotúneles que en su lateral no tienen altura o muy poca (X: 0,44m). (Ver tabla 71 y Figura 82).
- **Altura Cenital (m):** Con respecto al parámetro altura cenital el promedio de alturas es de 2,76 m para todas las estructuras. Sin embargo se observa en

la figura 83 que los invernaderos curvos son los que presentan la mayor altura (4,03m), la variación general es de un 22%. Además en la Tabla 72 se ve que el 48,8% de los invernaderos corresponden al rango entre 2,5-3,5m (de 2,9m de altura promedio) y el 34,9% en el rango entre 1,5-2,5 m (con una altura media de 2,2m). Este indicador se relaciona con los indicadores de Superficie cubierta y Volumen del Invernadero con respecto a la superficie de suelo, en todos los cuales, los valores son menores a los aconsejados, pero está fundamentado en lo mencionado sobre los riesgos que tienen las estructuras muy expuestas al viento.

- **Materiales de Construcción- (%)**: Se observa en la Figura 84, que el 60,8% de los invernaderos son de madera, mientras que los de hierro alcanzan un 18,5%. Esto se supone que es así por la disponibilidad y costos de la madera en la zona.
- **Material de cobertura de techos - (%)**: sobre este punto conviene aclarar que existen muy pocas empresas que vendan insumos agropecuarios, por lo que el productor está condicionado a utilizar, en muchos casos, el material que dicha casa comercializa. No siendo en todos los casos el material adecuado.

Algunos productores, más organizados, hacen sus compras directamente en fábricas o distribuidores de otras provincias.

El 83,9% de los invernaderos censados, usan polietileno (PE) en el techo, tal como se puede ver en la Tabla 72. En el 43,9% el PE utilizado es de 150 micrones y el 31,6% de 100 micrones, como se observa en la Figura 84. La calidad en un 47,2 % de los casos no pudo ser identificada y un 40,8% usan el polietileno larga duración térmica (LDT).

- **Materiales de cobertura en laterales- (%)**: El material más utilizado en las paredes, al igual que lo observado para la techumbre, es el PE con un 79,8% de la superficie y el vidrio (V) en segundo lugar alcanzando un 11,5%, según se muestra en la figura 85. En cuanto al espesor del material plástico, el 44,3% de la superficie se utiliza el polietileno de 150 $\mu$ . (Figura 86). La información del tipo de aditivos no se conoce para un 49,2 % de la superficie cubierta y en un 44,1% se usa LDT.
- **Orientación de los invernaderos (N-S E-O)**: Si bien existen ubicaciones de los invernáculos en orientaciones diferentes a las principales, es notable la cantidad de invernaderos situados en la dirección N-S (63%). Esto indicaría que estarían incorrectamente orientados para la mejor captación de la radiación, siendo la orientación E-O es la más recomendada para regiones de altas latitudes y cuando los invernaderos son naves individuales (Serrano Cermeño, Z., 2011; Francescangeli y Mitidieri, 2006). Pero en este análisis se debería incorporar el factor viento que para la zona es una limitante importante. No obstante este factor puede ser de interés para evaluaciones más ajustadas.
- **Cuadrante de Vientos – (%)**: Como se puede apreciar los vientos predominantes en la zona son del sector O – SO. Este factor es uno de los más importantes para la zona ya que es de una alta incidencia que llega a ser limitante para la orientación y diseño de invernaderos.

- **Velocidad de vientos ( $m s^{-1}$ ):** Como se observa en la tabla 64 las velocidades medias de los vientos, varían según la estación, teniendo una velocidad media anual de 26 km/h, con ráfagas que pueden llegar a máximos de 200 km/h (Figura 74), lo cual hace de éste un factor muy importante por la magnitud del fenómeno.

Como se mencionara, en la zona la producción se realiza en primavera y verano, época de mayor radiación, donde las velocidades de los vientos son importantes. Podríamos considerar a este factor como una herramienta que nos permite mejorar el ambiente del invernáculo, ya que ante la falta de ventilación que presentan los invernaderos, estos fuertes vientos estarían corrigiendo de algún modo esa limitante. Sin dejar de lado los peligros que esto conlleva en la vida útil de la cubierta y a veces en la estructura.

En los invernaderos de Holanda se ha comprobado que si el salto térmico es de 9°C, a partir de la velocidad de viento de 1 m/s el efecto térmico tiene menos importancia que el eólico sobre la cantidad de aire renovado (F.A.O 2002).

**Temperatura - (°C):** Como se aprecia en los datos correspondientes en este apartado, las temperaturas estarían limitando la producción al aire libre y restringiendo la producción de algunas especies bajo cubierta.

Si bien, las especies que se producen manifiestan comportamientos adecuados en cuanto a rendimientos bajo este tipo de estructuras, se observa que existe el riesgo de que las fallas de diseño y de construcción permitan un excesivo escape de la energía acumulada durante el día. Lo que implica que se deberían realizar estudios para poder mejorar el ahorro energético.

### **Conclusiones**

Los factores más importantes de la zona son los fuertes vientos y las bajas temperaturas que limitan la producción y que afectan el funcionamiento de los invernáculos.

La combinación de alta radiación en los meses más cálidos y el viento, actuando sobre estos invernáculos de escasa ventilación, generarían un ambiente perjudicial para los cultivos.

La orientación de los invernaderos en el terreno, al igual que otros factores de dimensiones y construcción, son adoptados en función de las condiciones de la parcela o simplemente intuición por parte del productor.

Si bien hay estructuras que cumplen con las características técnicas deseables para el adecuado manejo del ambiente y la mejora de la productividad, que pertenecen al grupo de los invernáculos de techo curvo y de estructura metálica, sufren algún daño (principalmente la cubierta) por las condiciones climáticas mencionadas.

Esto junto a las fallas de construcción que poseen los característicos invernáculos de la zona (escasa altura, tanto lateral como cenital; bajo volumen de aire sobre la superficie cubierta y tipo de material de construcción), señalaría una posible línea de investigación y experimentación.

# ANEXO METODOLÓGICO

La metodología consistió en efectuar un relevamiento de las empresas productoras de hortalizas y flores bajo invernadero en cada zona. El trabajo se realizó mediante el censado in-situ con una planilla ad-hoc en donde se registraron los siguientes datos: i) nombre del productor, ii) ubicación geográfica de predio; iii) cultivos producidos; iv) tipología, dimensiones y ubicación de los invernaderos y v) materiales utilizados. La ubicación del predio se determinó tomando en consideración la localidad en que se encontraba y la lectura de coordenadas GPS. Las dimensiones de los invernaderos para determinar la extensión del mismo, así como de las ventanas se realizó mediante la lectura de cintas métricas. Con respecto a los materiales utilizados se registraron: tipo de polietileno (aditivos y espesor); utilización de media sombra (tipo y forma de utilización); material de construcción del invernadero en postes y techos. También se relevó el número de invernaderos acoplados lateralmente (adim.); la altura media de la ventana cenital (m); la altura lateral del invernadero (m) y la altura cenital del invernadero (m). Al tratarse de un estudio observacional los datos fueron procesados en planilla electrónica Excel (Microsoft Co.) para realizar la evaluación mediante estadísticos descriptivos.

Además, se elaboraron los siguientes indicadores para evaluar la funcionalidad de los invernaderos, los cuales se describen en las siguientes tablas.

**Tabla 75.** Descripción de los indicadores de relaciones utilizados para el relevamiento de regiones productoras mediante invernaderos en Argentina.

Indicadores de Relaciones				
Item	Descripción	Indicador	Unidad	Observación
1	Número de Invernaderos Acoplados lateralmente / Largo de cada invernadero	NA / L	m <sup>-1</sup>	Normalmente se presenta un valor medio con alguna medida de dispersión (p.ej. Desvío estándar). Mediante el mismo se conjugan estas dos variables, considerando que cuanto mayor resulta esta relación, mayor pueden resultar los problemas de ventilación, acentuada si los invernaderos carecen de ventilación cenital.
2	Superficie de Cubierta plástica /superficie de suelo	SC / SS	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Mediante este indicador, es posible estimar las pérdidas de calor por conducción.
3	Volumen total del invernadero/ superficie de suelo	VI / SS	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	A través del cálculo de este indicador, se puede obtener información a modo de estimación de la 'inerzia térmica' del invernadero.

4	Superficie de ventana /Superficie de suelo	SV / SS	$m^2 / m^2$	Esta relación es directamente proporcional a la tasa de ventilación del invernadero. Se considera adecuada para una eficiente ventilación cuando es al menos de 25 % (F.A.O., 1990); 15 a 25 % (von Zabeltzitz, 1999) ó más de 20 % (Montero y col., 2001, Connellan, 2002).
5	Superficie ventana cenital/Superficie de suelo	SVC/SS	$m^2/m^2$	Mediante este indicador se pretende discriminar la proporción de ventanas que representan las situadas a nivel de la techumbre de los invernaderos. A modo de estimación se puede adoptar como apropiado un mínimo de 10 % (Montero, 1999).
6	Superficie Ventana Lateral / Superficie de suelo	SVL / SS	$m^2 / m^2$	Idem a la consideración anterior (>15 %).

**Tabla 76.** Descripción de los indicadores de dimensiones utilizados para el relevamiento de regiones productoras mediante invernaderos en Argentina.

Indicadores de dimensiones					
7	Número de Invernaderos Acoplados lateralmente	NA	Adim.	Se propone mediante este indicador la elaboración de una escala porcentual (i.e. 35 % con 10 NA, 10 % con 8 NA.....)	
8	Altura media de la ventana cenital	HVC	m	Este indicador encuentra su sustento físico si se considera que la altura de la ventana cenital está directamente relacionada (aunque no linealmente) con la tasa de ventilación por efecto de flotación (Sase y col., 2002; Bouchet y col., 2007).	
9	Altura lateral	HL	m	Mediante este indicador se propone la elaboración de una escala similar al indicador 7.	
10	Altura cenital del invernadero	HC	m	Ídem anterior.	

**Tabla 77.** Descripción de los indicadores de materiales utilizados para el relevamiento de regiones productoras mediante invernaderos en Argentina.

Indicador de materiales				
11	Material de construcción	MC	%	A grandes rasgos se requiere caracterizar el porcentaje de invernaderos (sobre la base de superficie cubierta) construidos con madera o metálicos.
12	Polietileno de techumbre	PET	%	Mediante este indicador se propone elaborar una escala porcentual (siempre referido a superficie total de invernaderos) donde se exprese en % el tipo de PE utilizado (en espesor y calidad).
13	Polietileno de pared	PEP	%	Idem anterior
14	Utilización de media sombra	MS	%	Se requiere la determinación porcentual de empresas que utilizan sistemas de atenuación de la radiación solar mediante mallas. De aquellos que la utilizan se pretende determinar el tipo de malla (en índice de obstrucción) y la ubicación (dentro o fuera del invernadero).

**Tabla 78.** Descripción de los indicadores de orientación y climáticos utilizados para el relevamiento de regiones productoras mediante invernaderos en Argentina.

Indicadores de orientación y climáticos				
15	Orientación del eje longitudinal del invernadero	OEL	N-S E-O	Se requiere generar una escala en porcentaje de los invernaderos con las diferentes orientaciones geográficas de su eje longitudinal.
16	Cuadrante de vientos	CV	%	A partir de datos normales (medias de 30 años o en su defecto datos medios de un menor período más reciente) establecer los cuadrantes principales de procedencia de los vientos.
17	Velocidad del viento	VV	m s <sup>-1</sup>	De la base de datos anterior, se requiere determinar la velocidad media del viento en período de invierno y de verano. El primero brinda una aproximación a las pérdidas de calor por conducción y renovación, el segundo la importancia o no de la presencia de ventanas cenitales (considerando en éste último caso que velocidades de viento media < 1,5 m s <sup>-1</sup> aumentan la importancia de la ventilación por flotación – cenital-).
18	Temperatura	T	°C	Temperatura media máxima de verano y media mínima de invierno.

# BIBLIOGRAFÍA

## **Bibliografía citada**

- Alpi, A.; Tognoni, F. 1991. Cultivo en invernadero. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Antón Vallejo, M<sup>a</sup>. Asunción, 1.994. Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo (Tesis). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Baeza E.J., Pérez-Parra, J.J., López, J.C., Montero, J.I. 2006. CFD study of the natural ventilation performance of a Parral type greenhouse with different numbers of spans and roof vent configurations. *Acta Horticulturae* 719:333-340.
- Bailey, B. 2003. Screens stop insects but slow airflow. *Flower Tech*, Vol 6 (2): 18-20.
- Bailey, B.J. and Richardson, G.M. 1990. A rational approach to greenhouse design. *Acta Hort.* 281:111-118.
- Baille, M., Bailla, A., Tchamitchian, M. 1990. A simple model for the estimation of greenhouse transmission: Influence of structures and internal equipment. *Acta Hort.* 281:35-46.
- Baptista, F. J.; Abreu, P.E.; Meneses, J.F.; Bailey,B.J. 2001. Comparison of the climatic conditions and tomato crop productivity in Mediterranean greenhouses under two different natural ventilation management systems. Agribuilding. Campinas.Br. pp-112-124
- Baroni, A.; Mitjans, L.; Velocce, S.; López, B.; Alegre, F.; Rojas, M. 2004. Censo Provincial de Productores de Flores de Corte 2004. Fundación Instituto de Desarrollo Rural, Mendoza, Sector de Flores.
- Benencia, R.; Cattaneo, C. A.; Fernández, R. 1994. Cultivos hortícolas bajo invernáculo en el cinturón verde de Buenos Aires. Difusión, consecuencias y perspectivas. *Acta Horticulturae* N° 357: 210 – 235.
- Bertin, N; Guichard, S.; Leonardi, C.; Longuenesse, J.J.; Langlois, D.; Navez, B. 2000. Seasonal Evolution of the Quality of Fresh Glasshouse Tomatoes under Mediterranean Conditions, as Affected by Air Vapour Pressure Deficit and Plant Fruit Load. *Annals of Botany*. 85 (6): 741-750
- Bot G.P.A., van de Braak, N.J. 1995. Physics of greenhouse climate. In: *Greenhouse Climate Control* (Bakker J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., van de Braak, N.J.), pp. 125-158, Wageningen Pers.
- Bouchet E.R., Bouzo C.A., Schapschuk P.A., Freyre C.E., Favaro, J.C. 2008. Modelación matemática de variables físicas para modificar la temperatura interna de invernaderos. CAEDI 5:108-116
- Bouchet, E., C. Freyre, C.A. Bouzo, R.A. Pilatti. 2002. Relación entre la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa de una cubierta plástica y el ángulo de incidencia solar. *Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias, Argentina* 1(2):7-13.
- Bouchet, E., C. Freyre, C.A. Bouzo. 2003. Relación entre la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa de una cubierta plástica y el ángulo de incidencia solar, *Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 1(2): 7-14.
- Bouchet, E.R., Freyre, C.E., Bouzo, C.A., Favaro, J.C. 2007. Efecto de las dimensiones de un invernadero sobre la temperatura interna en períodos cálidos. *Revista Científica Agropecuaria.* 11(2):111-119,
- Bouzo C.A., Pilatti R.A., J.C. Favaro, N.F. Gariglio, 2003. Cultivo de tomate en invernadero: Alternativa para el control de temperaturas extremas, IDIA XXI. INTA, 4: 137-141.

- Bouzo C.A., Pilatti, R.A. 1999. Evaluación de algunos factores que afectan la transmisión de la radiación solar en invernaderos. Revista FAVE, 13(2):13-19.
- Bouzo, C.A., Gariglio, N.F., Pilatti, R.A., Grenón, D.A., Favaro, J.C., Bouchet, E.R. 2006. Inversim: A simulation model for a greenhouse. Acta Horticulturae 719:271-277.
- Bouzo, C.A.; Gariglio, N.F.; Favaro, J.C.; Vera Candiotti, N. 2009. Estudio y análisis técnico de los invernaderos en las provincias de Córdoba y Santa Fe. Horticultura Argentina 28(67):24-36..
- Brader, L., 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO. Plant Production and Protection Paper 90, 313 p.
- Briassoulis D., Waaijenberg D., Gratraud, J., von Elsner B. 1997. Mechanical properties of covering materials for greenhouses, Part I: a general overview. Journal of Agricultural Engineering Research, 67: 81-96.
- Bruggink,G.T.; Heuvelink, E. 1987. Influence of Light on the Growth of Young Tomato, Cucumber and Sweet Pepper Plants in the Greenhouse: Effects on Relative Growth Rate, Net Assimilation Rate and Leaf Area Ratio. Scientia Horticulturae. 31, 161-174
- Carbone, A.; Garbi, M.; Morelli, G.; Martínez, S.; Grimaldi, M.C.; Somoza, J. 2012. Influencia del grado de envejecimiento del polietileno sobre la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) hacia el interior de un invernadero parabólico. Horticultura Argentina 31 (76): 22.
- Castilla, N.; Lopez-Galvez, J. 1994 Vegetable crop responses in improved low-cost plastic greenhouses. Journal of Horticultural Science 69 (5) 915-921
- Castilla, N.; Lorenzo, P.; Montero, J.I.; Fereres, E.; Bretones, F.; López-Gálvez, J.; Pérez-Parra, J. 1989. Alternative greenhouses for mild winter areas of Spain. Acta Horticulturae 245, pp: 63-70.
- Castilla, N.; Lorenzo, P.; Perez-Parra, J.; Montero, J.I.; Fereres, E.; Bretones, F.; López-Galvez, J. 1990 New greenhouse structures for the south of Spain Acta Horticulturae. 281:153-158
- Castro J.E., 2006. Producción hortícola de primicia en Corrientes. EEA INTA Bella Vista. Serie Técnica N° 18:16-22 p.
- CHFBA. 2005. Censo Hortifloricola Provincia de Buenos Aires.
- Cockshull, K.E., 1988. The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. Acta Horticulturae 229, pp: 113-121.
- Connellan G.J. 2002. Selection of greenhouse design and technology options for high temperature regions. Proceedings of International Seminar on Trop. Subtrop. Greenhouse, Acta Hort. 578.
- CRICYT. 2000. Catálogo de Recursos Humanos e Información relacionada con la temática ambiental en la Región Andina Argentina. Recursos y problemas ambientales de la provincia de Mendoza. En: <http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap02.htm#inhalt>
- Crittent, D.L. 1984. The effect of geometric configuration on the light transmission of greenhouses. J. Agr. Engng. Res. 29 (3): 199-206
- Crittent, D.L. 1987a. Light transmission losses due to structural members in multispan greenhouses under diffused skylight conditions. J. Agric. Eng. Res. 38:193-207.

- Critten, D.L. 1987b. Light transmission losses due to structural members in multispan under direct light conditions. *J. Agr. Engng. Res.* 38 (3): 209-215
- Critten, D.L. 1988. The transmission of direct light by structureless symmetric-roofed multispan greenhouses with non-absorbing cladding. *J. Agr. Engng. Res.* 40 (3): 225-232.
- De Koning, A.N.M. 1988. The effect of different day/night temperature regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science.* 63 (3) 465-471
- De Koning, A.N.M. 2000. The effect of temperature fruit load and salinity on development rate of tomato fruit. *Proc. XXV IHC. Part 9. Acta horticulturae* 519. ISHS. 85-93
- De la Torre, A.; Cavagnaro, M. 2016. Programa de Mitigación de Daño por Granizo de Mendoza y resultados operativos de 3 años de gestión. Resultados científicos de su Comité Asesor. Ministerio de Agroindustria y Tecnología, DACC. Mendoza. 2016. En: [www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/pdf/de%20la%20Torre\\_Cavagnaro.pdf](http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/pdf/de%20la%20Torre_Cavagnaro.pdf)
- FAO. 1990. Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO Plant Production and Protection Paper 90. 313 p.
- FAO. 1999. CropWat for Windows. Versión 4.3 (C) 1996-1999, HDS, NWRC, Rome.
- FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Producción y protección vegetal, trabajo N°90. ISBN 92-5-302719-3. Roma 2002.
- Feuilloley P.; Issanchou, G.. 1996. Greenhouse covering materials measurement and modelling of thermal properties using the hot box method, and condensation effects. *J. Agr. Engng. Res.* 65: 129-142
- Francescangeli, N. 1999. Mallas anti-insectos en invernaderos: sus efectos sobre los parámetros climáticos. 8as. Jornadas sobre Cultivos Protegidos. INTA-UNLP, 20 y 21 de mayo.
- Francescangeli, N.; Ferrato, J.; Rosania, A.; Levit, H. 1994a. Efecto del blanqueado, sombreado y aspersión de agua sobre techo, en la temperatura y otros parámetros climáticos en invernaderos, durante el periodo estival. *Revista de Agricultura Subtropical e Tropicale.* Vol 88 (3): 419-442
- Francescangeli, N.; Ferrato, J.; Lara, M. A.; 1994b. Efecto del doble techo, pantalla aluminizada y aspersión de agua sobre la cubierta, con y sin aporte de calor, en las temperaturas nocturnas de invernaderos, durante el invierno. *Revista de Agricultura Subtropical e Tropicale.* Vol 88 (3): 443-456
- Francescangeli, N.; Mitidieri, M., 2006. El Invernadero hortícola. Estructura y Manejo de Cultivos. EEA INTA. San Pedro. San Pedro Buenos Aires.
- Gabriel, E.L. 1997. Prospección de los Cultivos Protegidos en Mendoza y San Juan, Argentina. En: Avances en Horticultura, Vol. 2 (1): 47-59, 1997. Edición on-line PDF: [http://www.horticulturaar.com.ar/bajar.php?archivo=1997\\*97-gabriel.pdf&nombre=Prospecci%F3n%20de%20los%20cultivos%20protegidos%20en%20Mendoza%20y%20San%20Juan,%20Argentina](http://www.horticulturaar.com.ar/bajar.php?archivo=1997*97-gabriel.pdf&nombre=Prospecci%F3n%20de%20los%20cultivos%20protegidos%20en%20Mendoza%20y%20San%20Juan,%20Argentina)
- Garbi, M.; Grimaldi, M. C.; Martínez, S.; Carbone, A. 2002. Influencia de invernaderos sobre la temperatura estival en el cinturón hortícola platense. *Revista Brasileira de Agrometeorología.* V. 10 N° 1: 27 – 31.
- Geoola F.; Kashti Y.; Peiper, U.M.. 2000. Solar radiation transmissivity of greenhouse cladding materials. *Acta Horticulturae.* 534:109-116

- Giacomelli, G.A.; Ting, K.C. y Panigrahi, S. (1988). Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. *Transactions of the ASAE* 31(5):1540-1543.
- Golberg; M.; Mascarini, L.; Orden, S.; Sierra, E.M.. 1996. Transmisión espectral en la banda de la radiación fotosintéticamente activa de las cubiertas plásticas para invernadero. *Horticultura Argentina* 15 (38): 51-54
- Grange, R.I.; J. Andrews, J. 1993. Growth rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. *Journ. Hort. Scie.* 68 (5):747-754
- Grange, R.I.; J. Andrews, J. 1995. Respiration and growth of tomato fruit. *Plant cell and environment.* 18:8, 925-930.
- Grimaldi, M. C.; Somoza, J.; Martínez, S.; Strassera, M. E. 2007. Marcha de la temperatura del aire en dos invernaderos del cinturón hortícola platense durante el mes de enero de 2007. 30º Congreso Argentino de Horticultura. 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos. Libro de Resúmenes: 95.
- Hernández, J., Escobar I., Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. *Horticultura* 157:1-9.
- Hernandez, J., Fernandez-Tapia, J.M., Hita, O., Soriano, T., Morales, M.I., Castilla, N. and Escobar, I. 2006. Effect of crop row orientation on the passive ventilation of a plastic greenhouse. *Acta Hort.* 719:205-210.
- Heuvelink E. 1995. Growth, development and yield of tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae.* 61: 77-99
- Heuvelink E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of a dinamic simulation model *Annals of Botany.* 77:71-80
- Hortoinfo. 2016. <http://hortoinfo.es/webantigua/index.php/noticia/7258-presu-inv-210916>
- IDR. 2000. Fundación Instituto de Desarrollo Rural, Mendoza. Primer Censo Provincial de Productores de Flores de Corte.
- IDR. 2008. Informe Hortícola de la provincia de Mendoza. Programa Relevamiento Hortícola Provincial. Superficie con hortalizas invernales y estivales período 2007 – 2008.
- Iglesias, N. 2005. Tesis Doctoral. Estudio de condiciones térmicas y lumínicas y determinación de alternativas tecnológicas para el ahorro de energía en invernaderos de la Patagonia Norte – Argentina. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. España. 160pp.
- Iglesias, N.; Frattini, M.. 1996. Los invernáculos del Alto Valle: relevamiento de las estructuras y análisis económico de las principales alternativas. Actas IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural- Neuquén. Argentina. Tomo II- (817-822).
- Iglesias N., Muñoz A., 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. *Horticultura Argentina* 26(60):10-16.
- Iglesias, N.; Raffo, D.; Muñoz, A. 2003. Crecimiento vegetativo y fructificación diferencial de los racimos de tomate (*Licopersicum esculentum* ) en un cultivo primicia en invernadero. *Revista Horticultura Argentina Vol 20/22- N° 49/52:40*
- INDEC- 2002 - Censo Nacional Agropecuario - Dirección Nacional de Estadística y Censos. En: [http://www.indec.gov.ar/cna\\_index.asp](http://www.indec.gov.ar/cna_index.asp).
- Inocenti, M. C.; Escalante, G.; Carbonell, A.; Rosic, N.; Quartino, R.; Lenscak, M.; Iglesias, N.; Gabriel, E. L.; Mora, J.; Czepulis, J.; Santa Juliana, M.; Martínez, S. 2012. Des-

- empeño de películas plásticas para coberturas de invernadero. Estudio comparativo de muestras sometidas a envejecimiento natural vs envejecimiento acelerado. Actas del XXXV Congreso Argentino de Horticultura. Pág. 172-174. ISBN 978-987-97812-9-6
- INDAP. 1.996. Estudio de mercado de hortalizas en la región Patagónica Chilena – Argentina y perspectivas de desarrollo del sub-sector hortícola en la XII<sup>a</sup> región. Punta Arenas, Chile. Instituto de Desarrollo Agropecuario
  - INTA. 2005. Curso de capacitación a distancia por internet. Manejo del Invernadero. PROCADIS.
  - INTA Castelar, 2008. Estadística agroclimática decadial interactiva 1971-2000. <http://www.intacya.org/> Leído el 31/08/08.
  - INTI. 1997. Reglamento SIRSOC 104/97. Acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones. Ed. INTI.
  - Lenscak, M. 2007. Estado actual y perspectivas de los cultivos protegidos en el Noreste Argentino. 1<sup>er</sup>. Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos, La Plata, Argentina, 25-28/9/07.
  - Lenscak, M. P.; Ramirez, M. del H. C. de; Ishikawa, A.; Cáceres, S.; Zimmermann, J. 1996. Evaluación de distintos modelos de estructuras de invernaderos para cultivos de hortalizas. IV Congreso Argentino de Ingeniería Rural. U. N. Del Comahue. Neuquén. 23 al 25 de Octubre de 1996. Memorias pág. 753-761.
  - Lenscak, M. P.; Stavisky, A. 2016. Situación actual de la Plasticultura en Argentina. Conferencia. 39º Congreso Argentino de Horticultura : Valorización para nuevas oportunidades. – Santa Fe : Asociación Argentina de Horticultura.
  - Lenscak, M.P.; Eisenberg, P.; Cáceres, S.; Colombo, M. H.; 2004. Efecto de diferentes protecciones (plástico antivirus, malla antiáfidos y polietileno normal) sobre las poblaciones de moscas blancas (*Bemisia tabaci*) y su efecto sobre la producción. En Acuña, J.F. y Medina, P. Ed. Memorias VI Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de plásticos en Agricultura. CIDAPA 2004. Opciones Gráficas Editores Ltda. Bogotá, Colombia. p. 65 – 68.
  - López Cameló, A. F. 2012. La utilización del Google Earth para el relevamiento de la superficie bajo cubierta en el Gran Buenos Aires. XXXV Congreso Argentino de Horticultura. ASAHO. Corrientes. P. 350
  - López Hernández J. C. 2014. Necesidades energéticas de los invernaderos en periodos fríos. Ed. Fundación Cajamar.
  - Lorenzo, P. 2001. El manejo del clima en invernadero para la producción de hortalizas II Seminario Internacional de Cultivo Protegido- Sao Paulo
  - Maroto, J.V. 1989. Elementos de horticultura general. Ed. Mundiprensa.343 pp.
  - Martinez, P. F. 1994. The influence of environmental conditions of mild winter climate on the physiological behaviour of protected crops. Acta Horticulturae Nº 357: 29 – 48.
  - Matallana, A. y Montero, J. I. 1995. Invernaderos. Diseño, Construcción y Climatización. Edición Mundi Prensa.
  - Miranda, M. 2017. Superficie de cultivo bajo cubierta en el Gran La Plata, análisis espacial son Sistemas de Información Geográfica -SIG. Periurbanos hacia el consenso. Córdoba. Disponible en: [https://docs.wixstatic.com/ugd/c7b21d\\_eecb8fecc14c6f-9593ba7c174d3ac0.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/c7b21d_eecb8fecc14c6f-9593ba7c174d3ac0.pdf)

- Mistriotis A., Bot G.P.A., Picuno P., Scarascia-Mugnozza G. 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. Agricultural and Forest Meteorology 85:217-228.
- Monteith J.L.; Unsworth, M.H. 1990. Principles of environmental physics. 2nd. Edn. Edward Arnold Ed. London U.K.
- Montero J.I, Antón A., Kamaruddin R., Bailey B.J. 2001. Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small scale models. Journal of Agricultural Engineering Research, 79:213-222.
- Montero J.I. 1999. Ventilación natural de invernaderos: Estado actual. En: 8as. Jornadas sobre cultivos protegidos. La Plata, Argentina. 28 p.
- Mora, J.; Claps, L.; Herrero, V. 2005. Cuantificación económica de los daños ocasionados por temporal de viento en la zona de chacras de Río Gallegos el 16 de Enero de 2005. [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar).
- Muñoz, P.; Antón, A.; Montero, J.I. 1998. Estructuras de invernaderos, Tipología y materiales. En tecnología de Invernaderos II. Curso Sup. De Especialización. Perez Parra, Cuadrado Gomez Ed. Cap III: 65-99
- Navarro, J.A. 1998. Evolución de los invernaderos en Almería. Horticultura 133:13-18.
- Nijkens, J. ; Deltour, J.; Coutisse, S.; Nisen, A. 1985. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. Agricultural and Forest Meteorology. 35 : 229-242
- Nijskens J.; Deltour J.; Albrecht E.; Grataud J.; Feuilloley P., 1990. Comparative studies on the ageing of polyethylene film in the laboratory and in practical use. Plasticulture, 87(3):11-20.
- Nisen A. 1963. Construction, orientation et forme des serres. Acta Hort. N° 2
- Novedades Agrícolas. 2016. <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernaderos-goticos>
- Papadakis, G.; Briassoulis, D.; Scarascia Mugnozza, G.; Vox, G.; Feuilloley, P.; Stoffers, J.A. 2000 Radiometric and thermal properties of, and Testing methods for, greenhouse covering material (review paper) J. Agr. Engng. Res. 77 (1) 7-38
- Papadakis, G.; Manolakos D.; Kyritsis, S. 1998. Solar Radiation Transmissivity of a Single-Span Greenhouse through Measurements on Scale Models. J. Agric. Engng. Res. 71: 331-338
- Pearce, B.D.; Grange R.J.; Hardwick, K. 1993. The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. Journal of Horticultural Science 68(1)1-11
- Pearson, S.; Wheldon, A.E.; Hadley,P. 1995. Radiation transmission and fluorescence of nine greenhouse cladding material J. Agr. Engng. Res. 62: 61-70
- Pieters, J. G.; Deltour, J.M.; Debruyckere, M.J. 1995. Onset of condensation on the inner and outer surface of greenhouse covers during night. J. Agr. Engng Res. 61: 165-171
- Pieters, J. G.; Deltour, J.M.; Debruyckere, M.J.1997. Ligth transmission through condensation on glass and polyethylene. Agricultural and forest meteorology. 85: 51-62
- Pizzi, Daniel. 1992. Aspectos Económicos Relacionados con los Cultivos Protegidos en la Provincia de Mendoza. In: Cultivos Protegidos de Flores y Hortalizas. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 1992, Mendoza, Argentina. p. 171-193.

- Pollet, I.V.; Pieters, J.G. 1999a. Measuring facility for (shortwave) radiation transmission of condensation covered greenhouse cladding. *Acta Horticulturae*. 486: 55-60
- Pollet, I.V.; Pieters, J.G. 1999b. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. *Agricultural and forest meteorology*. 93: 149-152
- Pollet, I.V.; Pieters, J.G. 2000a. PAR transmittance of dry and wet glass. *Acta Horticulturae* 534:285-292.
- Pollet, I.V.; Pieters, J.G. 2000b. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, Part 3: Results for glass plates and plastic films *J. Agr. Engng. Res.* 77 (4): 419-428.
- Quargnolo E.; Williams M. 1.996. Estimación del consumo de hortalizas en la ciudad de Río Gallegos. INTA. Río Gallegos. Argentina.
- Rhuveni, R.; Rotem, J., 1973. Epidemics of Leveillula taurica on tomatoes and Peppers as affected by the Conditions of Humidity. *Phytopath. Z.*, 76. 153 — 15
- Robledo De Pedro, F.; Martín Vicente, L; 1981. Aplicación de los plásticos en la Agricultura. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- Sato, S.; Peet, M. M.; Gardner, R.G. 2001. Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Scientia Horticulturae*, v.90, p.243-254.
- Sauser, B.J.; Giacomelli, G.A.; Janes, H.W. 1998. Modeling the effects of air temperature perturbations for control of tomato plant development. *Acta Horticulturae*. 456: 87-92
- Schoch, P.G.; L'Hotel, J.C.; Brunel, B. 1990. Croissance du diamètre de la tige de tomate: Effets du rayonnement et de la température nocturne. *Agricultural and Forest Meteorology*. 50:3, 229-238
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de La Nación. 1994. Estado de Situación de la Horticultura Argentina. Boletín Hortalizas y Legumbres Nº2, Abril 1994.
- Serrano Cermeño, Z. 2011. Guía práctica del empleo de materiales plásticos en agricultura y ganadería. 1º Edición. I.S.B.N. 978-84-615-3520-0
- Sierra, E.M.; Orden S.; Golberg M. y Mascarini,L. 1994. Evaluación de plásticos para invernaderos. Rev. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 14 (1): 83-89
- Soriano T., Hernández J., Morales M.I., Escobar I., Castilla N. 2003. Uniformidad de radiación en invernaderos multimodulares orientados este-oeste. Actas de Horticultura Nº 39, X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Pontevedra, España: 432-434 p.
- Teitel, M., Deriugin, M., Barak, M., Antler, A., Gahali, Y., Tanny, J., Haslavsky, V. 2012. The effect of gutters and roof vents on light in a multi-span greenhouse. *Acta Horticulturae* 956:457-464.
- Tesi, R. 1968. Aspetti e problemi del condizionamento térmico delle serre. *Genio Rurale* N° 7/8
- Tesi, R. 1974. Esigenze termiche delle principali specie coltivate in serra. Encuentro: Le colture protette nell'attuale situazione energetica. 17 p.
- Valera Martínez, D. L.; Molina Aiz, F. D.; Gil Ribes, J. A. 1999. Los invernaderos de Almería: Tipología y Mecanización de la gestión y del clima. Universidad de Almería. Servicio de publicaciones. Ciencia y Tecnología N° 9. 284 pag. ISBN 8482402323
- Van den Muijzenberg E W B (1980). A history of greenhouses. IMAG, Wageningen, The Netherlands

- Verstraten, L.; Lucke, T.; O'Loughlin, G.; 2017. Comparing empirical water depth observations of a box gutter roof drainage system to three different international design guidelines. *Journal of Building Engineering*.
- Von Elsner B.; Briassoulis D.; Waaijenberg D.; Mistriotis A.; Zabeltitz Chr; Grataud J.; Russo G.; Suay-Cortes R. 2000. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *J. agric. Engng Res.* 75: 1-16
- Wang S., Boulard, T., 2000. Measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels. *Agronomie* 20:41–50.
- Wang, S.; Pieters, J.G.; Deltour, J.. 1999. Studies of radiometric, thermal and climatic properties of a new greenhouse covering material. *Acta Horticulturae*. 486:49-54
- Yao, C.; Moreshet, S.; Aloni,B.; Karni, L. 2000. Effects of climatic factors and water stress on the diurnal fluctuation in diameter of bell pepper fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 75 (1)6-11
- Zabeltitz, C. 1990. Greenhouse construction in function of better climate control. *Acta Hort.* 263:357-374.
- Zhang; Y.; Gauthier, L.; de Halleux, D.; Dansereau, B.; Gosselin, A. 1996. Effect of covering materials on energy consumption and greenhouse microclimate *Agricultural and Forest Meteorology*. 82: 227-244
- Zhao Y.; Teitel M.; Barak,M. 2001. Vertical temperature and humidity gradientes in a Naturally ventilated greenhouse. *J. Agr. Engng. Res.* 78(4):431-436

### **Bibliografía consultada**

- Antón, A. 1994. Estructuras de invernaderos: Tipología y Materiales. En, *Tecnología de Invernaderos, Curso Superior de Especialización*. Almería. Centro de Investigación y Desarrollo Hortícola. España.
- Araki, T.; Gitano, M.; H. Eguchi, H. 2000. Dynamics of fruit growth and photoassimilate translocation in tomato plant under controlled environment. *Acta horticulturae*. 534. ISHS. 85-92
- ASHRAE ,1989. Handbook. Fundamentals American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC
- Bailey, B.J. 1984. Limiting the relative humidity in insulated greenhouse at night. *Acta Horticulturae*. 148. pp 411-419
- Bot, G.P.A. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. PhD. dissertation. Agric. Univ. Wageningen
- Bouzo, C.A., Favaro, J.C., Pilatti, R.A., Scaglia E.M. 2007. Cinturón Hortícola de Santa Fe: Descripción de la zona y situación actual. Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias. Aceptado para publicación 4 (1-2).
- Buffington, R.A.; Henley, R.W. and McConnell, D.B. 2002. Fans for greenhouses. Univ. of Florida, Agric. and Biolog.Eng. Dep., AE-12, 5 pp.
- Buffington, R.A.; Henley, R.W. and McConnell, D.B. 2002. Greenhouse ventilation. Univ. of Florida, Agric. and Biolog.Eng. Dep., AE-10, 6 pp.
- Carluccio C., Lenscak M., Panelo M., Colombo M., Cáceres S., Molina N., Scaglia E., Peruzzi C., 2002. Desarrollo Actual de los Cultivos Protegidos en la República Argentina.

En: Díaz Alvarez, R., y López Galvez, J. ED. Situación de la Agroplasticura en Países Iberoamericanos. Tercera Reunión de Coordinación de Caracas, Venezuela, Cyted, Almería, España. Septiembre de 2002, Pág. 30 a 71.

- Cartwright, B.; Roberts, B.W.; Hartz, T.K.; Edelson, J.V. 1990. Effects of mulch on the population increase of *Myzus persicae* (Sulzer) on bell peppers (*Capsicum annum L.*). *Southwestern Entomologist*, 15(4): 475-479.
- Cartwright, B.; Palumbo, J.C.; Fargo, W.S. 1990. Influence of crop mulch and row covers on the population dynamics of the squash bug (*Anasa tristis*, Heteroptera: Coreidae) on summer squash. *J. Econ. Entomol.* 83(5): 1988-1993.
- Casini C., Rodríguez J., y Bartosik R.. Almacenamiento de Granos en Bolsas Plásticas. Resultado de Investigación. Convenio de Vinculación Tecnológica INTA – Empresas Fabricantes de Bolsas Plásticas. 2009. República Argentina.
- Castilla, N. 1998. Condiciones ambientales en invernaderos no climatizados. *Tecnología de Invernaderos II. Curso Superior de Especialización*. F.I.A.P.A. Pérez Parra y Cuadrado Gómez Ed.
- Castilla, N.; Hernández, J.; Quesada, F.M.; Morales, M.I.; Guillén, A.; Escobar, I.; Montero, J.I. 1999. Alternative asymmetrical greenhouses for the mediterranean area of Spain. *Acta Horticulturae*. 491:83-86
- Colombo de Ramírez, M.H. 1990. Solarización: Desinfección solar del suelo y evaluación de su acción sobre *Phytophthora capsici* Leonian en Bella Vista (Corrientes), Argentina. XIII Congreso Argentino de Horticultura, Salta 24-28/9/90. Resúmenes, p.49.
- De Koning, A.N.M. 1989. The effect of temperature on fruit growth and fruit load of tomato. *Acta Horticulturae*. 248, 329-336.
- Doria, J.; De ANDRÉS, M.C. 1990. Desinfección Ecológica de Suelos de Cultivos Mediante el Uso de la Energía Solar. Mimeografiado. Grupo de Energía Solar, Facultad de Físicas, Universidad Complutense, 28040 MADRID.
- Duffie, J.A.; Beckman, W.A. 1980. *Solar engineering of thermal processes*. A Wiley-Interscience publication. USA.
- Durand, P.; Souza Casadinho, J.. 1993. Agroecología: una alternativa para la producción hortícola. XVI Congreso Argentino de Horticultura, Sept. 1993, Corrientes, Argentina. Resúmes p. 126.
- Fernández R., 2007. Caracterización de los Cultivos Protegidos en el Gran Buenos Aires y Gran La Plata 1er. Simposio Internacional de Cultivos Protegidos, La Plata, Argentina, 25-28/9/07
- Ferrato J., López Cameló A., 2007. Diagnóstico Participativo Sobre los Cultivos Forzados en Argentina. 1er. Simposio Internacional de Cultivos Protegidos, La Plata, Argentina, 25-28/9/07
- Fitipaldi, Carlos Roberto. 1992. Estado actual de la producción bajo cubierta en el Noroeste Argentino (NOA). Mimeografiado, EEA. SALTA-INTA, C.C. 228, 4400 Salta.
- Francescangeli, N. 1998. Mallas anti-insectos en invernaderos. *Producendo*, Año VI, N° 40: 31-32.
- Francescangeli, N. 1999. Mallas anti-insectos en invernaderos: sus efectos sobre los parámetros climáticos. 8as. Jornadas sobre Cultivos Protegidos. INTA-UNLP, 20 y 21 de mayo.

- Francescangeli, N. 2001. Actualización Curso a Distancia "Cultivo de Hortalizas en Invernadero". Módulo 2: El invernadero
- Francescangeli, N. 2008. Invernaderos para la producción hortícola y florícola: Climatización para períodos cálidos. INTA, EEA San Pedro, Hoja Informativa Nº 8, 4 pp.
- Francescangeli, N.; Mitidieri, M. y Amma, A. 2000. Cultivo de tomate bajo cubierta. Jornada de Capacitación. Publicación de la EEA San Pedro, INTA, 50 pp.
- Francescangeli, N.; Mitidieri, M., 1998. Cultivo de pimiento en invernadero con mallas anti-insectos. Campaña 97/98. EEA INTA San Pedro, 11pp.
- Francescangeli, Nora y Mariel Mitidieri. El invernadero hortícola. Estructura y manejo de cultivos. INTA, EEA San Pedro.
- Francescangeli,N. y M. Mitidieri. 1998. Cultivo de pimiento en invernadero con mallas anti-insectos. Campaña 97/98. EEA INTA San Pedro, 11pp.
- Francescangeli; Mitidieri, M. y Amma, A. 2000. Cultivo de tomate bajo cubierta. Jornada de Capacitación. Publicación de la EEA San Pedro, INTA, 50 pp.
- Francescangeli; N. 2001. Actualización Curso a Distancia "Cultivo de Hortalizas en Invernadero". Módulo 2: El invernadero
- Giunchedi, L., Vicchi, V.; Gambin, E. 1991. Influenza di diversi film plastici per la pacchiamatura nella prevenzione dei virus trasmessi da afidi in coltivazioni di zucchino. Informatore Fitopatologico 12, 1991. Bologna, Italia.
- Greenough, D.R.; Black, L. L. 1990. Aluminium-surfaced Mulch: An approach to the control of Tomato Spotted Wilt Virus in Solanaceous Crops. Plant Disease 74(10): 805-808.
- Ham, J.M.; Kluitenberg, G.J.; Lamont, W.J. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. Journal Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (2):188-193.
- Hwa-sung Cheng; Gap, P.; Chae Cheng Soon-Ju. 1977. Environmental factors in the plastic house and their effects on the physiology and ecology of vegetables crops. Theses of Chonnam Univ. Vol.23.
- Iglesias, N.; Frattini, M.. 1996. Los invernáculos del Alto Valle: relevamiento de las estructuras y análisis económico de las principales alternativas. Actas IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural- Neuquén. Argentina. Tomo II- (817-822)
- Iglesias, N.; Muñoz, A. 2004. Evaluación de la productividad y principales causas de descarte del cultivo de tomate bajo invernadero en el ciclo primavera-estival. XXVII Congreso Argentino de Horticultura. ASAHO. Merlo. Rep. Argentina.
- Iglesias, N.; Veronessi, A.; Rossini, M. Di Masi, S. 2000(a). Factores que contribuyen a la producción de frutos no comerciales en cultivos de tomate bajo cubierta en la norpatagonia: a) análisis de las principales anomalías y su incidencia. . Horticultura. Argentina. Rev. Horticultura Argentina. 19 (46):198
- Iglesias,N.; Veronessi, A.; Rossini, M. Di Masi, S. 2000(b). Factores que contribuyen a la producción de frutos no comerciales en cultivos de tomate bajo cubierta en la norpatagonia: b)Respuesta de los cultivares a las principales anomalías. 2000 actas.. Argentina. Rev. Horticultura Argentina.19 (46): 199
- Jones, J.W., Kening, A. ; Vallejos, C.E. 1999. Reduced state-variable tomato growth model. Transaction of the ASA. Vol. 42(1):255-265
- Jones, R.A.C., 1991. Reflective mulch decreases the spread fo two non persistently aphid transmitted viruses to narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*). Ann. appl. Biol. 118:79-85.

- Lenscak, M.P.; Mansutti, J.J. 2009. Relevamiento y diagnóstico técnico de las estructuras de invernaderos de la provincia de Corrientes. -- En: XXXII Congreso Argentino de Horticultura 23 al 26 de setiembre de 2009. -- Salta: Asociación Argentina de Horticultura, 2009, p. 87
- López Camelo A. 2007. Situación de los Cultivos Protegidos en la Argentina. 1er. Simposio Internacional de Cultivos Protegidos, La Plata, Argentina, 25-28/9/07
- Matteucci S., Morillo J.. 2001 Singularidades Territoriales y Problemas Ambientales de un País Simétrico y Terminal. Ecportal. Net. Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España. 1987. Los Cultivos Forzados en Almería: Actualización a 1984. Dirección General de la Producción Agraria, Madrid, España.
- Mitidieri,M; N. Francescangeli; A. Polack; E. Dal Bo e I. de Mitidieri. 1996. Evaluación del efecto de las mallas anti-insectos en cultivos de tomate bajo cubierta. Carpeta Jornada de Capacitación: El invernadero hortícola: Manejo de Plagas y Enfermedades, EEA INTA San Pedro.
- Mitidieri,M; N. Francescangeli; A. Polack; E. Dal Bo e I. de Mitidieri. 1996. Evaluación del efecto de las mallas anti-insectos en cultivos de tomate bajo cubierta. Carpeta Jornada de Capacitación: El invernadero hortícola: Manejo de Plagas y Enfermedades, EEA INTA San Pedro.
- Mollinedo V., Alvarado P., 2008. Producción Hortícola de la Región Subtropical de Salta y Jujuy. Estación Experimental de Cultivos Tropicales Yuto, Jujuy, Argentina
- Montero, J. I.; Antón, A. 1993. Tecnología del invernadero. Curso de Tecnología de la Horticultura Protegida. INTA-UBA. Carpeta 220 pp
- Montero, J.I.; Antón, A.; Hernández, J.; Castilla, N. 2001. Direct and diffuse light transmission of insect-proof screens and plastic films for cladding greenhouses. Acta Horticulturae. 559:203-209
- Montero, J.I. 2007. Manejo de la ventilación y refrigeración en invernaderos. XXX Congreso Argentino de Horticultura, disertación.
- Montero, J.I.; Antón, A.; Muñoz. P. 1998. Fundamentos. Tecnología de Invernaderos II. Curso Superior de Especialización. Perez Parra, J. Ed. 254-266
- Montero; J.I.; Antón A.; Muñoz,P. 1998. Modificaciones en las estructuras e instalaciones de invernaderos orientadas a la reducción del impacto ambiental. Encuentro ambiental almeriense: en busca de soluciones. Almería,España. [www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMEN/g02/d02101/d02101.htm](http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMEN/g02/d02101/d02101.htm)
- Ochigbo, A.A. Harris, G.P. 1989. Covering Tomato Transplants. J. Hort. Sci. 64(1):61-68. 1989.
- Orden, S.; Goldberg, M.; Quartino, R.; Masacrine, L.; Landini, A.; Malleville, H.; Botín, L. 2000. Estudio comparativo entre ensayos de exposición natural y envejecimiento acelerado de films de polietilenos para invernaderos. Agr. Técnica. 60(3):95-304
- Pascual, B.; Bardisi, A.; Lopez\_Galarza, S.; Alagarda, J.; Maroto, J.V. 1998. Influencia del riego y del potencial matricial en el rendimiento y el rajado de tomate.(*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Fawell). Invest. Agr.: Prod. Veg. 13 (1-2): 5-19
- Peet, M. M.; Willits, D. 1991. Tomato fruit cracking: cultural, environmental, developmental and genetic pieces of the puzzles. HortScience. 26 (6) : 779

- Pieters, J. G.; Deltour, J.M. 1997. Performances of greenhouses with the presence of condensation on cladding materials J. Agr. Engng. Res. 68: 125-137.
- Porcelli, S.; D'amore, R.; Petralia, S.; Monopoli, F. P.. 1985. Aprestamenti per la semi-forzatura o per la protezione temporanea. Estratto da L'Italia Agricola, anno 122, Nº 1, Gennaio-Marzo 1985. Salerno, Italia.
- Sase S., Reiss E., Both A.J., Roberts W.J., 2002. Developing a Natural Ventilation Model for Open-Roof, CCEA, Center for Controlled Environment Agriculture, Cook College, Rutgers University, 9 pp.
- Scatamacchia J., La Plasticatura en la República Argentina. 1er. Congreso Argentino del CAPPA. 23 – 25/10/2006.
- Schaljo, E. 1992. Perspectivas Regionales y Mercados Potenciales: Propuestas Tecnológicas de Cultivos Protegidos. In: Curso Internacional de Cultivos Protegidos, Abril 1992, Neuquen, Argentina. p. 31, 42, 46.
- Tarara, J.M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. HortScience. Vol 35 (2). 169-180
- Urban L 1997. Introduction à la production sous serre. Tome 1: La gestion du climat. Lavoisier Tec&Doc. Paris.
- Vernet E., 2003. Manual de Consulta Agropecuaria.
- Von Zabeltitz, C. (1999). Greenhouse structures. Ecosystems of the World's 20 Greenhouses. Elsevier Publication, Amsterdam.
- Windows to the Universe (Ventanas al Universo), en <http://www.windows.ucar.edu> de University Corporation for Atmospheric Research (UCAR).
- Zitter, T.A.; Somons, J.N. 1980. Management of viruses by alteration of vector efficiency and by cultural practices. Ann. Rev. Phytopathol. 1980, 18:289-310.

La mayor parte de la bibliografía sobre invernaderos trata sobre esquemas zonales, refiriéndose a climas o características climáticas particulares, por lo tanto las recomendaciones que se dan sirven para una zona determinada.

Como la República Argentina es sumamente extensa y abarca desde climas subtropicales a climas fríos, desde regiones húmedas hasta regiones secas, es que en este libro planteamos el análisis de los distintos factores climáticos que tenemos que considerar para armar un invernadero, y en base a estos factores, repensar en la construcción.

En la primera parte del libro se detallan los factores climáticos y su influencia sobre la construcción.

En la segunda parte, se van describiendo cómo son las estructuras que se han ido construyendo en las distintas regiones del país, y su análisis desde el punto de vista ambiental.



ISBN



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Presidencia de la Nación