

HORTICULTURA

Caracterización y análisis técnico de los invernaderos en las provincias de Córdoba y Santa Fe

C.A. Bouzo; N.F. Gariglio; J.C. Favaro y N. Vera Candiotti

Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805 (S3080HOF) Esperanza, Santa Fe. cbouzo@arnet.com.ar

Recibido: 20/04/09

Aceptado: 21/11/09

Resumen

Bouzo, C.A.; Gariglio, N.F.; Favaro, J.C. y Vera Candiotti, N. 2009. Caracterización y análisis técnico de los invernaderos en las provincias de Córdoba y Santa Fe. *Horticultura Argentina* 28(67): 24-36

El objetivo de este trabajo fue estudiar las características de los invernaderos localizados en las provincias de Córdoba y Santa Fe con especial énfasis en aspectos dimensionales, funcionales y constructivos. Fueron relevadas la totalidad de las fincas con invernaderos durante los años 2007 y 2008. El trabajo se realizó mediante un censo registrándose los siguientes datos: i) nombre del productor, ii) ubicación geográfica del predio; iii) cultivos producidos; iv) tipología y dimensiones de los invernaderos; y v) materiales utilizados en su construcción. Los datos obtenidos fueron procesados mediante la elaboración de al-

gunos indicadores técnicos. Los tipos de invernaderos más utilizados en Córdoba son los denominados a "Dos Aguas Modificado" (DAM) mientras que en Santa Fe lo es también el tipo "Dos Aguas" (DA). En general, se observó que la altura de los invernaderos es baja, teniendo además una escasa superficie de ventilación. Estas características afectan negativamente el comportamiento térmico de los invernaderos. La pendiente de las canaletas en los invernaderos acoplados lateralmente es de un ángulo muy bajo dificultando la evacuación de las precipitaciones. Con base en estos resultados, se discuten además las consecuencias de estas características a nivel regional considerando los cultivos que se realizan.

Palabras clave adicionales: cultivos hortícolas y de flores, sistemas de producción forzados, diseño estructural.

Abstract

Bouzo, C.A.; Gariglio, N.F.; Favaro, J.C. and Vera Candiotti, N. 2009. Survey and technical analysis of the greenhouses in Cordoba and Santa Fe provinces. *Horticultura Argentina* 28(67): 24-36

The aim of this work was to study the structural characteristics of greenhouses located in the Cordoba and Santa Fe provinces, with dimensional, functional and constructive emphasis. Were relieved all greenhouses during the 2007 and 2008 years. The work was carried out by a census recorded the following data: i) name of farmer; ii) location of the greenhouses; iii) crops produced; iv) type and size of the greenhouses; and v) construction of utilized materials. The data obtained were processed through the development of some technical indicators. In Cor-

do the most popular shapes of plastics greenhouses are "saddle roof type with zenithal windows" (DAM), while in Santa Fe is also are without zenithal windows (DA). Noted that the greenhouses are generally low, with a small surface for natural ventilation. These features adversely affect the thermal behavior of these structures. The slope of the gutters in multispan greenhouse is inadequate, which often creates problems of disposal of rain water. Based on these results, we discuss further the implications of these characteristics at the regional level considering the crops that are produced.

Additional keywords: vegetables and flowers crops, production systems forced, structural design.

1. Introducción

El intento por adaptar el ambiente a las necesidades de los cultivos mediante estructuras cubiertas es antigua en la historia de la humanidad (Woods & Warren, 1988). 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 *et al.*, 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 *et al.*, 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 *et al.*, 2005). También, en 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 (F.A.O., 1990) o bien como adaptaciones de estructuras utilizadas para otros fines como fue el caso de Corrientes (Castro, 2006). Actualmente, una gran parte de los invernaderos fueron construidos artesanalmente con madera, por grupos de trabajo abocados 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 (Montero *et al.*, 2008). 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 permita analizar la situación actual de los invernaderos en la región,

permitiría contar con información real sobre la tipología dominante en cada zona, aspectos de diseño y estructurales que posibiliten obtener nuevas propuestas que posibiliten mejorar su construcción en el futuro.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar y analizar las características estructurales de invernaderos localizados en las provincias de Córdoba y Santa Fe con especial énfasis en aspectos dimensionales, funcionales y constructivos, como así también la superficie destinada a cada cultivo.

2. Materiales y métodos

La metodología consistió en efectuar un relevamiento de la totalidad de las empresas productoras de hortalizas y flores bajo invernadero en las provincias de Córdoba y Santa Fe durante los años 2007 y 2008. 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 del predio; iii) cultivos producidos; iv) tipología y dimensiones de los invernaderos; y v) materiales utilizados en su construcción. La ubicación del predio se determinó tomando en considera-

ción la localidad en que se encontraba y la lectura de coordenadas GPS. La medición de las dimensiones de los invernaderos para determinar la extensión del mismo así como de las ventanas se realizó mediante la lectura con 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 utilizados en los invernaderos para paredes y techos. También se relevó el número de invernaderos acoplados lateralmente; 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, como la media y el coeficiente de variación (CV, %).

Además, se elaboraron los siguien-

Tabla 1. Localización y distribución porcentual de la superficie con invernaderos en las provincias de Córdoba y Santa Fe.

Provincia	Localidad	Superficie (%)	Coordenadas geográficas	
Córdoba	Cosquín	26,0	31° 15' S	64° 27' W
	Cruz del Eje	8,0	30° 43' S	64° 44' W
	Montecristo	38,0	31° 21' S	63° 54' W
	Río Cuarto	13,5	33° 07' S	64° 21' W
	Villa María	14,5	32° 26' S	63° 12' W
	Alvear	0,6	33° 04' S	60° 32' W
	Angel Gallardo	0,2	31° 32' S	60° 40' W
	Arroyo Seco	1,4	33° 10' S	60° 27' W
	Barrancas	14,2	32° 13' S	60° 58' W
	Coronda	3,6	31° 59' S	60° 56' W
Santa Fe	Desvío Arijón	3,7	31° 51' S	60° 52' W
	General Lagos	1,7	33° 05' S	60° 34' W
	Helvecia	3,5	31° 07' S	60° 07' W
	Monte Vera	5,3	31° 32' S	60° 41' W
	Perez	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	33° 03' S	60° 36' W

tes indicadores para evaluar la funcionalidad de los invernaderos: 1) Número de Invernaderos acoplados lateralmente / longitud de cada invernadero (m); 2) superficie de cubierta plástica (m²) / superficie de suelo (m²); 3) volumen total del invernadero (m³) / superficie de suelo (m²); 4) superficie de ventana (m²) / superficie de suelo (m²); 5) superficie de ventana cenital (m²) / superficie de suelo (m²). Se compararon las zonas estudiadas mediante la utilización de datos climáticos normales y la confección de climogramas que relacionan las temperaturas y la radiación diaria mensual (F.A.O., 1990).

3. Resultados y discusión

3.1 Descripción de la zona

En la provincia de Córdoba la superficie con invernaderos es de 27,7 ha distribuidas principalmente en cinco localidades (Tabla 1). En Santa Fe la superficie con invernaderos es de 102,2 ha distribuidas en quince localidades, todas ellas cercanas al río Paraná (Tabla 1). 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 *et al.*, 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 *et al.*, 1997). No obstante, el análisis de los datos climáticos

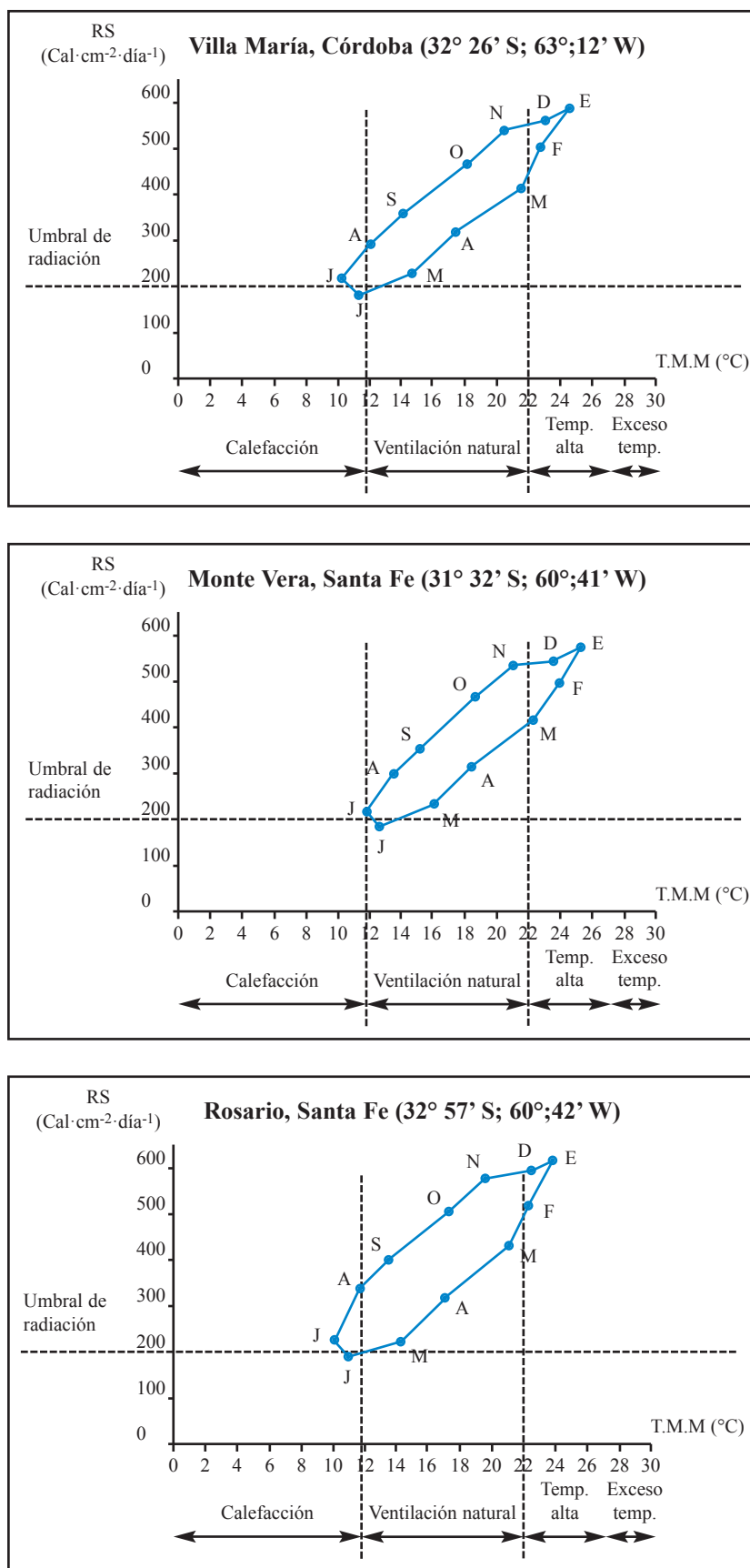


Figura 1. Climogramas de la radiación solar media diaria mensual (Cal·m⁻²·día⁻¹) y la temperatura media diaria mensual (°C) de las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.

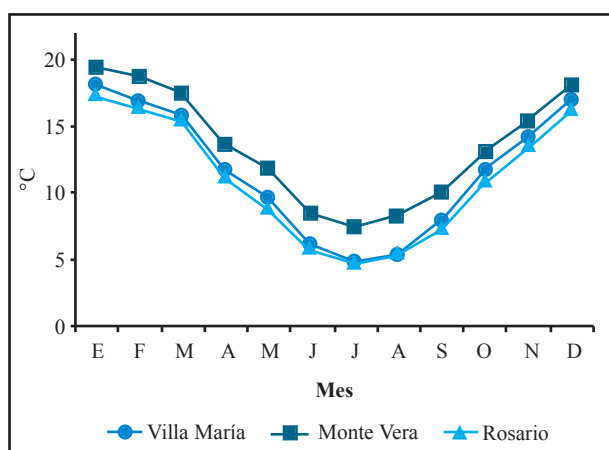


Figura 2. Temperatura mínima media diaria mensual (°C) para las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.

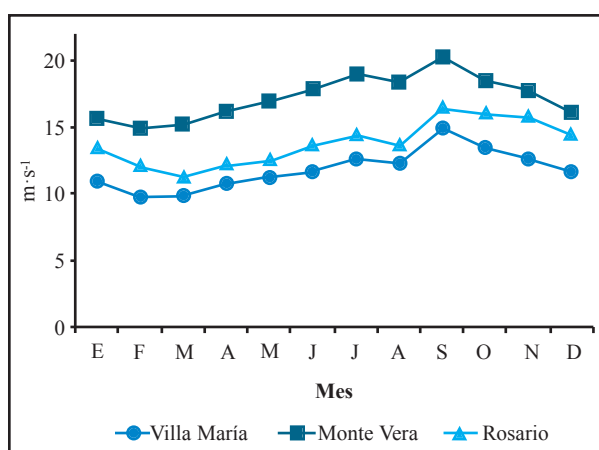


Figura 3. Velocidad del viento medio diario mensual (m·s⁻¹) para las distintas localidades.

normales para cada localidad permite apreciar diferencias considerando la temperatura y radiación media diaria de cada mes (F.A.O., 1990). Por ejemplo, en la provincia de Santa Fe los invernaderos localizados en Monte Vera están bajo el efecto de un régimen de temperaturas más favorables durante el invierno (Figura 1) que los situados en Rosario (Figura 1c; Figura 2). Incluso ésta última localidad, aún 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 1a; Figura 2). 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 1b). Durante la mayor parte del año, la radiación solar prácticamente no significaría una limitante, a excepción del mes de julio (Figura 1).

Es por eso que con cultivos de alta cobertura foliar como puede ser tomate o pimiento durante esos meses, la radiación solar puede limitar la tasa fotosintética (Wang & Boulard, 2000) y el rendimiento, asumiendo que éste es proporcional a la integral lumínica (Bailey & Richardson, 1990). Por lo tanto, algunos aspectos que inciden en la transmitancia

solar como el ángulo de techo, el tipo de invernadero (Baille *et al.*, 1990; Bouzo & Pilatti, 1999; Iglesias & Muñoz, 2007) o el aumento en el número de invernaderos adosados lateralmente (Critten, 1987), son importantes debiendo considerarse para mejorar la transmitancia de la radiación solar principalmente durante los meses invernales.

Considerando ahora la velocidad del viento como una importante variable meteorológica disipadora de energía, en Monte Vera tiene una mayor velocidad media anual de viento (Figura 3) lo que en parte permitiría disminuir los problemas asociados con las altas temperaturas. La pluviometría anual media no tiene prácticamente diferencias entre estas localidades (Figura 4), siendo de considerables los problemas que pueden ocasionar en invernaderos con deficientes evacuación de aguas de los techos, las precipitaciones de alta intensidad que ocurren principalmente a inicios de otoño y finales de primavera.

En Córdoba, el principal destino de los invernaderos es la producción de hortalizas, siendo el tomate el principal cultivo, ocupando una superficie muy cercana al 50 %, seguido luego por apio y pimiento (31 % y 15 %, respectivamente) (Figura 5). En Santa Fe, la superficie de invernaderos destina-

Tabla 2. Distribución de la superficie y dimensiones características de los principales tipos de invernaderos existentes en Córdoba.

Superficie	Altura (m)						Extensión (m)				Canaleta (pendiente)			
	(ha) %		Cenital		Lateral		Longitud		Ancho		M		≈0 % > 0 %	
			M	CV (%)	M	CV (%)	M	CV (%)	M	CV (%)				
DA	0,2	0,9	4,0	7,5	2,0	10,0	38,0	21,1	8,5	29,4				
CA	1,6	6,4	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 %	

DA, Dos Aguas; CA, Cuatro Aguas; DAM, Dos Aguas Modificado.

da 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 6). 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 7). Lo que se observa como común denominador en el caso de las dos provincias es que la proporción de la superficie total de invernaderos destinada a la producción de plantines es igual al 2 % (Figura 5 y 7).

3.2 Dimensiones y tipos de invernaderos utilizados

En la Figura 8 se presentan los tipos de invernaderos más comunes en Córdoba y Santa Fe con los esquemas de diferentes modelos y modificaciones utilizados. Con respecto a la tipología de los invernaderos, en Córdoba el tipo dominante es denominado a “Dos Aguas Modificado” (DAM) (Figura 8) que ocupa una superficie cercana a las 23 ha, lo que representa prácticamente el 93 % de la superficie (Tabla 2). Otro tipo de invernadero, aunque con una importancia mucho menor al anterior, es el denominado “Cuatro Aguas” (CA) (Figura 8) el que se localiza principalmente en las localidades de Río Cuarto y Villa María.

En Santa Fe al igual que en Córdoba, el principal tipo de invernadero es el DAM (Figura 8). Los otros tipos de invernaderos difundidos son los denominados “Dos Aguas” (DA) y “Curvo” (CU) (Tabla 3; Figura 8). 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 2). 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 *et al.*, 2007) (Tabla 3).

Otra situación distintiva entre los invernaderos

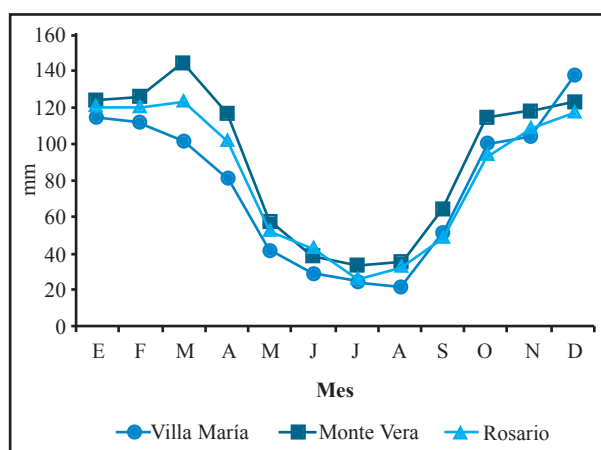


Figura 4. Pluviometría media mensual (mm) para las localidades de Villa María, Monte Vera y Rosario.

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 este último caso, esto refleja situaciones de algunos invernaderos aún más comprometida desde el 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 m ± 0,15 m y la cenital de 3,3 m ± 0,46 m. Esta escasa altura provoca un gran incremento de temperatura a la altura del cultivo (Bouchet *et al.*, 2007) que en ocasiones puede reducirse por la remoción de aire debido a la ventilación natural provocado por efecto dinámico del viento (Figura 3). Sin embargo, la ventaja de la ventilación por efecto dinámico disminuye cuando aumenta el número de invernaderos acoplados lateralmente (Bouchet *et al.*, 2007; Baeza *et al.*, 2006). Aproximadamente el 50 % de los invernaderos están acoplados lateralmente con más de cinco unidades (Tabla 4 y 5) 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 comprometería aún más la disipación de calor es la excesiva

Tabla 3. Distribución de la superficie y dimensiones características de los principales tipos de invernaderos existentes en Santa Fe.

Superficie	Altura (m)						Extensión (m)				Canaleta (pendiente)		
	(ha)	%	Cenital		Lateral		Longitud		Ancho		M	> 0 %	
			M	CV (%)	M	CV (%)	M	CV (%)	M	CV (%)	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 %
CA	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 %

DA, Dos Aguas; CA, Cuatro Aguas; DAM, Dos Aguas Modificado.

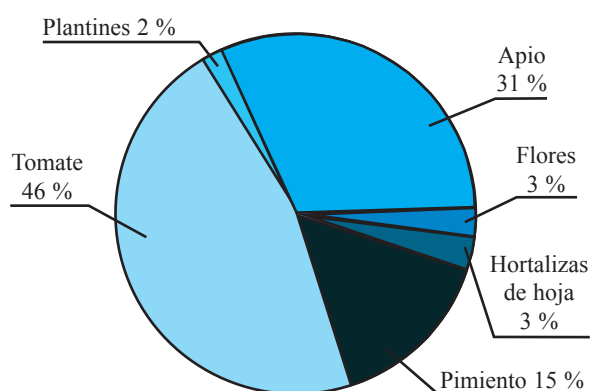


Figura 5. Proporción de la superficie total de invernaderos destinadas a cultivos hortícolas y flores para corte en Córdoba.

longitud de los mismos (Mistriotis *et al.*, 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 (Tabla 2 y 3). 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 2 y 3). 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 4). Sin embargo, esta mayor longitud posiblemente no comprometa la ventilación debido a que más del 50 % se construye individualmente, o a lo sumo con cinco unidades acopladas lateralmente (Tabla 4). 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° (mínimos de 21° y máximos de 32°) para el tipo DA y 16° (mínimos de 11° y máximos de 24°) para el DAM. En el caso de los invernaderos DA esta pendiente permite maximizar la captación de luz (Bouchet *et al.*, 2003) y en tanto que para los invernaderos 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 10). 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 tiene efecto prácticamente sobre la transmitancia de la radiación solar (Bouzo & 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 3) 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 10). En el caso de los invernaderos con ventilación cenital, la orientación es importante de acuerdo a la dirección de los vientos, prefiriéndose cuando estos 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 *et al.*, 2003) especialmente durante los meses invernales con bajo ángulo de altitud solar.

Al respecto, en los invernaderos acoplados lateralmente del tipo DAM orienta-

Tabla 4. Proporción de la superficie total con invernaderos en Córdoba según el número de unidades acopladas lateralmente, largo (m) y ancho (m) de los mismos.

Invernaderos acoplados (unidades)	DAM		Largo (m)	CA		Ancho (m)	DAM		CA
	%	%		%	%				
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	

DA, Dos Aguas; CA, Cuatro Aguas; DAM, Dos Aguas Modificado.

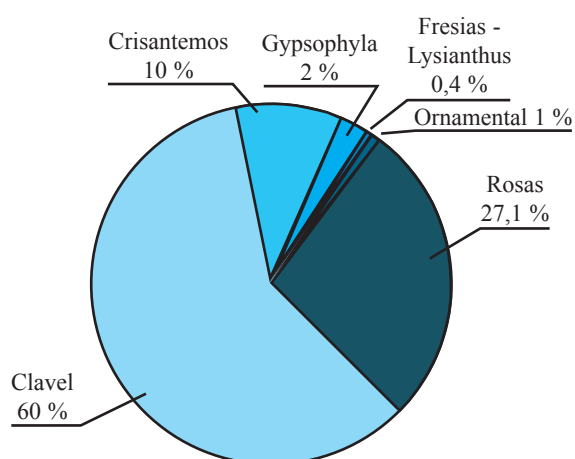


Figura 6. Proporción de la superficie total de invernaderos destinadas a cultivos de flores para corte y ornamentales en Santa Fe.

dos en sentido E-O, los últimos estudios realizados con CFD (según su sigla en inglés: *Computational Fluid Dynamics*) (Montero 2006, comunicación personal) 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 (Hernández *et al.*, 2006), a excepción que se trate de cultivos bajos con bien tutorados pero con orientación transversal al eje del invernadero. Esto se agrava en el caso de cultivos tutorados de gran desarrollo, como el caso de tomate y pimiento, resultando en una distribución interna de la luz menos homogénea debido al sombreado entre hileras (Bouzo & Pilatti, 1999).

Con respecto a la pendiente de la canaleta de de-

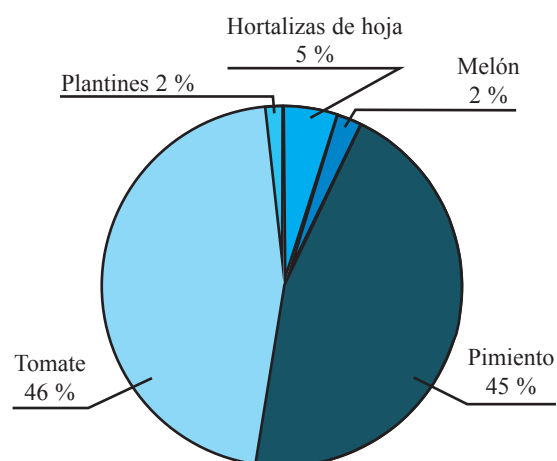


Figura 7. Proporción de la superficie total de invernaderos destinados a cultivos hortícolas en Santa Fe.

sagüe 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 2). En los invernaderos de Santa Fe, la mayoría tiene una pendiente de canaleta cercana a 0° (Tabla 3). La pendiente de la canaleta es un factor de diseño importante en climas húmedos (Zabeltitz, 1990) principalmente en los meses de mayor pluviometría entre octubre y abril (Figura 4) por lo que éste es un factor de diseño importante a considerar en futuras construcciones.

3.3 Análisis de los indicadores calculados

Con respecto a los indicadores utilizados se observaron diferencias tanto entre invernaderos como entre zonas (Tablas 6 y 7). Mediante el indicador 1 que relaciona el número de invernaderos acoplados lateralmente con el largo de cada invernadero, se considera que cuanto mayor de cero resulta esta relación, es posible que se incrementen los problemas

Tabla 5. Proporción de la superficie total con invernaderos en Santa Fe según el número de unidades acopladas lateralmente, largo (m) y ancho (m) de los mismos.

Invernaderos acoplados	DA	CU	DAM	Largo (m)	DA	CU	DAM	Ancho (m)	DA	CU	DAM
	%				%				%		
1	13	25	30	≤ 20	0,2	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	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				

DA, Dos Aguas; CA, Cuatro Aguas; DAM, Dos Aguas Modificado.

de ventilación. Los valores medios generales fueron muy similares para Córdoba y Santa Fe (0,13 y 0,12, 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 2), tienen una situación similar con los construidos en Santa Fe, con un valor entre 0,15 y 0,17. En estos invernaderos sin embargo, estos 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 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 y 1,42 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 6), principalmente porque se trata del invernadero más frecuente en la provincia (Tabla 2). Considerando este tipo de invernadero, el valor para Córdoba es menor que en Santa Fe (1,45) (Tabla 7). 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

Tabla 6. Valores medios y dispersión (CV %) de los indicadores obtenidos para Córdoba.

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

DA, Dos Aguas; CA, Cuatro Aguas; DAM, Dos Aguas Modificado.

Tabla 7. Valores medios y dispersión (CV %) de los indicadores obtenidos para Santa Fe.

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

DA, Dos Aguas; CA, Cuatro Aguas; DAM, Dos Aguas Modificado.

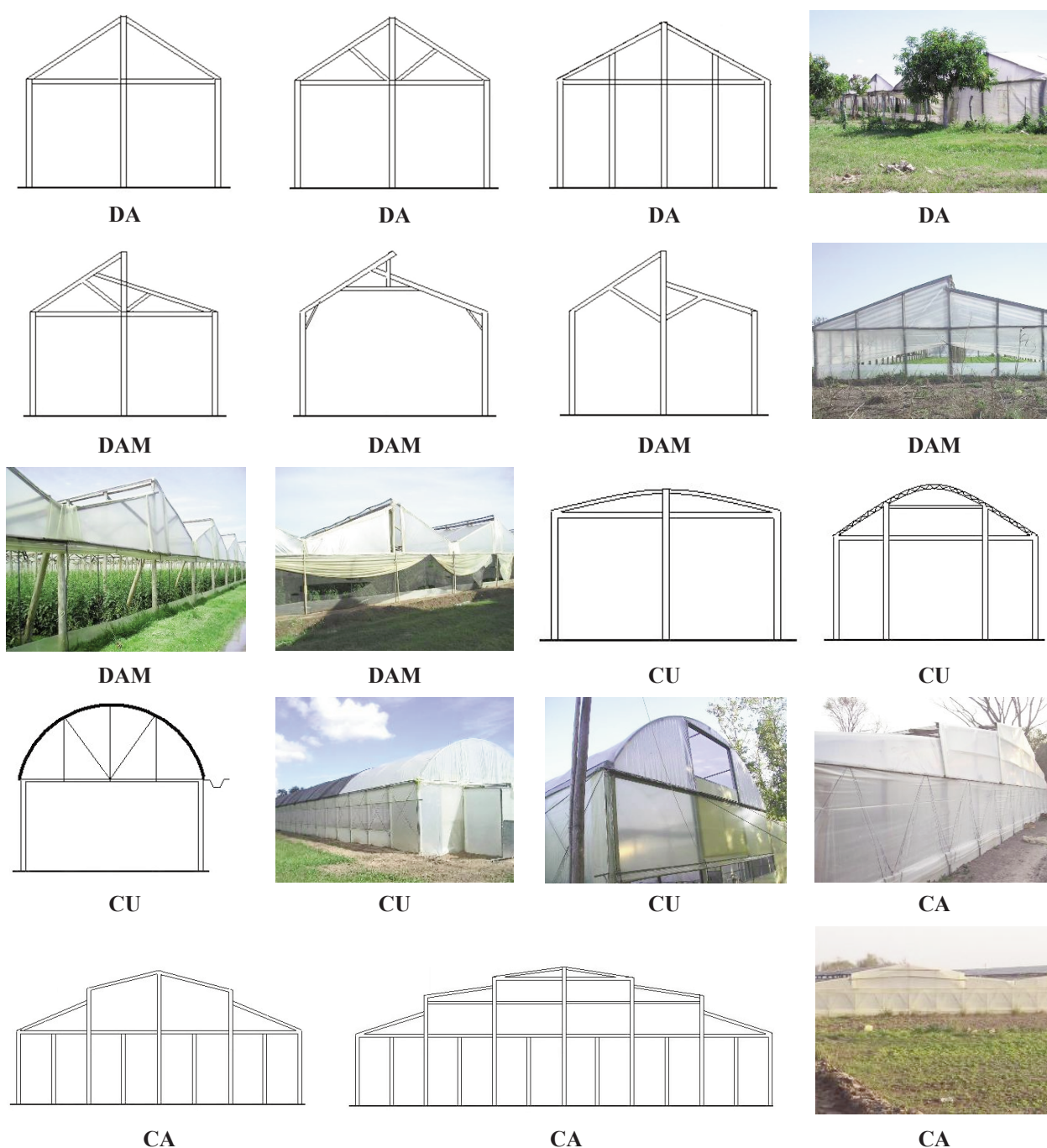


Figura 8. Tipos de invernaderos más habituales en las provincias de Córdoba y Santa Fe. DA; dos agua; DAM; dos aguas modificado; CU, curvo y CA, cuatro aguas. Los cortes transversales de las diferentes estructuras son ilustrativas no respetando estrictamente la escala real.

Santa Fe (Tabla 4 y 5), 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 permite con-

tar con una estimación de la “inercia térmica” del sistema (Bouchet *et al.*, 2007), es decir, amortiguando los bruscos cambios 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 6) son también mayores que para los de Santa Fe (Tabla 7) (3,06 y 2,66, respectivamente).

En Córdoba en todos los invernaderos este indicador es mayor que 3,0 (Tabla 6), en tanto que en

los invernaderos de Santa Fe esto ocurre solo en los invernaderos DAM (Tabla 7). De todas maneras, en ambas provincias sería deseable un mayor valor del índice 3 para asegurar fluctuaciones menos bruscas de la temperatura interna teniendo en cuenta las condiciones térmicas del verano y del invierno. En el caso de las temperaturas de verano, en los invernaderos DA que no cuentan con ventilación cenital, el valor de 2,45 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 6 y 7).

El indicador 4 que relaciona la superficie de ventana con la superficie de suelo 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 % (Zabeltitz, 1990) o más de 20 % (Montero *et al.*, 2001; Connellan, 2002). El valor general del indicador 4 para Córdoba es ligeramente inferior a Santa Fe (0,20 y 0,22, respectivamente) aunque con

un coeficiente de variación mucho menor en el primer caso (Tabla 6 y 7). En Córdoba, curiosamente los invernaderos DA tuvieron levemente un mayor valor que en los DAM (Tabla 6), en tanto que en Santa Fe ocurrió lo contrario (Tabla 7). 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 9). 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 trasplante. 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. 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 relaciona la superficie de ventanas cenitales y la superficie del suelo. Aunque no existen precisiones en cuanto al valor que debiera tener esta relación, aproximadamente puede ser concebida entre 5 y 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 mediante arrollado de parte del techo. Con respecto al valor medio del indicador 5, se observó que en Córdoba es el doble que en Santa Fe (Tablas 6 y 7) (0,02 y 0,01, respectivamente). En los DAM el valor es algo mayor en Santa Fe aunque también con una mayor dispersión medida por el coeficiente de variación (Tabla 7). La importancia de la ventilación cenital se incrementa con la disminución de la velocidad del viento, en estas situaciones la

Tabla 8. 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	Parte del invernadero	Referencias	Espesor del PE LDT (µm)			
			100	150	200	
Santa Fe	Techo	%	45,6	53,0	1,4	
		Superficie Techo (m ²)	557.491	647.834	16.560	
		Duración (años)	1,8	2,5	3,0	
	Pared	Cambio anual (m ²)	309.717	259.134	5.520	
		%	40,5	58,1	1,4	
		Superficie Techo (m ²)	156.739	224.759	5.515	
	Córdoba	Techo	Duración (años)	1,8	2,5	3,0
			Cambio anual (m ²)	87.077	36.152	411
			%	0,8	98,4	0,8
Pared		Superficie Techo (m ²)	2.270	279.680	2.277	
		Duración (años)	1,8	3,0	3,5	
		Cambio anual (m ²)	1.261	93.227	651	
Pared		%	59,6	38,3	2,1	
		Superficie Techo (m ²)	22.672	90.381	1.233	
		Duración (años)	1,8	2,5	3,0	
Pared	Cambio anual (m ²)	12.596	36.152	411		

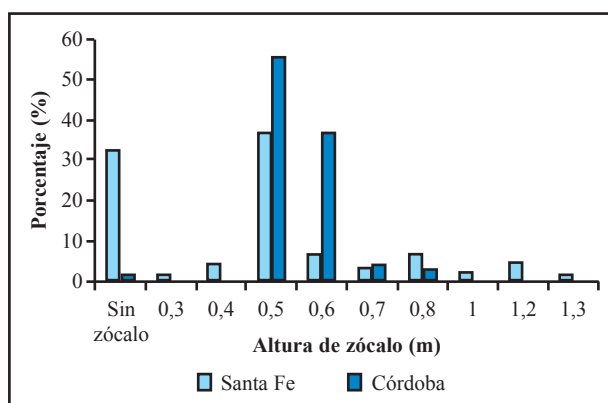


Figura 9. Altura media del polietileno colocado en la parte inferior de las paredes laterales y frontales (zócalo) en los invernaderos de Córdoba y Santa Fe.

renovación del aire es principalmente por efecto convectivo o de flotación (Bot & 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 3). Aunque las velocidades del viento son superiores a $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ocurren numerosos días con velocidades del viento inferiores a $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lo que acentúa la importancia de la existencia de las ventanas cenitales.

3.4 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, por cuanto en Córdoba son en un 98 % y en Santa Fe en un 96 % de postes. Sin embargo, en los materiales utilizados para las cubrerías, el 96 % es de madera en Córdoba y el 56 % en Santa Fe. Estas diferencias se deben a que el principal tipo de invernaderos en Córdoba es el DAM (Tabla 2), en tanto que en Santa Fe existe un 17 % de invernaderos CU construidos con hierro (Tabla 3).

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 $100 \mu\text{m}$ como de $150 \mu\text{m}$, en tanto que Córdoba la casi totalidad del material utilizado en techo es de $150 \mu\text{m}$ (Tabla 8). La duración de los PE es varia-

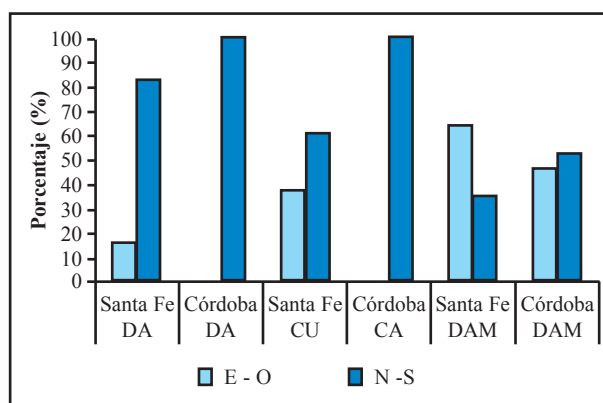


Figura 10. Orientación geográfica del eje longitudinal de los diferentes tipos de invernaderos en Córdoba y Santa Fe.

ble de acuerdo al espesor y a la provincia. Es conocido el hecho de que los PE con aditivos antiultravioleta duran más en función de su espesor (Nijskens *et al.*, 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 superior para todos los casos en relación a Santa Fe (Tabla 8). La integral de la radiación solar en el año en Rosario tiene un valor medio de $6.340 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, en Monte Vera de $5.957 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ y en Villa María de $5.911 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (INTA, 2008). La velocidad del viento también es mayor en las dos primeras localidades en comparación con Villa María (Figura 3).

El sombreado artificial en los meses de mayor intensidad de la radiación solar es una técnica para disminuir las temperaturas extremas (Bouzo *et al.*, 2003). En Santa Fe las mallas de sombreado 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 de 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 sombreado, 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.

4. 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 Santa 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 no representa 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 relevados es muy baja.

- En invernaderos de Córdoba se observó una menor relación de superficie de cubierta con respecto a la superficie 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).

- El tipo de material utilizado para la cobertura difiere entre las provincias, utilizándose en Santa Fe un mayor proporción de coberturas con efecto antigoteo.

5. Bibliografía

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.J. & 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

se transmission: Influence of structures and internal equipment. *Acta Hort.* 281:35-46.

Benencia, R.; Cattaneo, C.A. & Fernández, R. 1994. Cultivos hortícolas bajo invernáculo en el cinturón verde de Buenos Aires. Difusión, consecuencias y perspectivas. *Acta Hort.* 357:210-235.

Bot, G.P.A. & van de Braak, N.J. 1995. Physics of greenhouse climate. In: *Greenhouse Climate Control*. Wageningen Pers., p. 125-158. (Bakker, J.C.; Bot, G.P.A.; Challa, H. & van de Braak, N.J. eds.).

Bouchet, E.R.; Freyre, C.E. & Bouzo, C.A. 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. 1999. Evaluación de algunos factores que afectan la transmisión de la radiación solar en invernaderos. *Revista FAVE*, 13(2):13-19.

Bouzo, C.A.; Pilatti, R.A.; Favaro, J.C. & Gariglio, N.F. 2003. Cultivo de tomate en invernadero: Alternativa para el control de temperaturas extremas, *IDIA XXI* 4:137-141.

Bouzo, C.A.; Favaro, J.C.; Pilatti, R.A. & Scaglia, E.M. 2005. Cinturón Hortícola de Santa Fe: Descripción de la zona y situación actual. *Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias*. 4(1-2):63-69.

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.

Castro, J.E. 2006. Producción hortícola de primicia en Corrientes. EEA INTA Bella Vista. Serie Técnica N° 18:16-22.

Connellan, G.J. 2002. Selection of greenhouse design and technology options for high temperature regions. *Acta Hort.* 578:113-117.

Critten, D.L. 1987. Light transmission losses due to structural members in multispan greenhouses under diffused skylight conditions. *J. Agric. Eng. Res.* 38:193-207.

F.A.O. 1990. Protected cultivation in the Medite-

- rranean climate. FAO Plant Production and Protection Paper 90. 313 p.
- Hernández, J.; Fernandez-Tapia, J.M.; Hita, O.; Soriano, T.; Morales, M.I.; Castilla, N. & Escobar, I. 2006. Effect of crop row orientation on the passive ventilation of a plastic greenhouse. *Acta Hort.* 719:205-210.
- 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.
- I.N.T.A. 2008. Estadística agroclimática decadal interactiva 1971-2000. I.N.T.A. Castelar. URL <<http://www.intacya.org/>> . Acceso: 31 de agosto de 2008.
- 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.
- Montero, J.I. 1999. Ventilación natural de invernaderos: Estado actual. En: 8as. Jornadas sobre cultivos protegidos. La Plata, Argentina. 28 p.
- 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.; Stanghellini, C. & Castilla Prados, N. 2008. Invernadero para la producción sostenible en áreas de clima de invierno suaves, *Horticultura internacional*, 65:12-26.
- 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.
- Soriano, T.; Hernández, J.; Morales, M.I.; Escobar, I. & Castilla, N. 2003. Uniformidad de radiación en invernaderos multimodulares orientados este-oeste. In: *Actas de Horticultura N° 39, X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas*, Pontevedra, España. p. 432-434.
- von Elsner, B.; Briassoulis, D.; Waaijbergen, D.; Mistriotis, A.; Zabeltitz, C.; 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.
- Woods, M. & Warren, A.S. 1988. *Glass houses: a history of greenhouses, orangeries and conservatories*. Rizzoli Publish. New York, USA. 216 p.
- Zabeltitz, C. 1990. Greenhouse construction in function of better climate control. *Acta Hort.* 263:357-374.