

T-16/51

T
16
116

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA VEGETAL

07-03-96
520

EL SEMIFORZADO DEL CULTIVO DE COL CHINA (*Brassica
pekinensis* (Lour) Rupr.) MEDIANTE CUBIERTAS FLOTANTES.
CARACTERIZACIÓN MICROCLIMÁTICA Y EVALUACIÓN
AGRONÓMICA.

TESIS DOCTORAL

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
GRANADA
Nº Documento 619690800
Nº Copia 121244.108

UNIVERSIDAD DE GRANADA

1996

UNIVERSIDAD DE GRANADA
26 FEB. 1996
COMISIÓN DE DOCTORADO

**EL SEMIFORZADO DEL CULTIVO DE COL CHINA (*Brassica pekinensis* (Lour)
Rupr.) MEDIANTE CUBIERTAS FLOTANTES. CARACTERIZACIÓN
MICROCLIMÁTICA Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA.**

JOAQUIN HERNANDEZ RODRIGUEZ

Memoria presentada para optar al grado de **DOCTOR EN CIENCIAS**, sección
Biológicas.

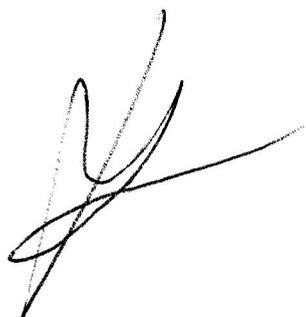


Fdo: Joaquín Hernández Rodríguez
Ldo. Ciencias Biológicas

Directores:



Fdo: Nicolás Castilla Prados
Dr. Ingeniero Agrónomo
Investigador del Dpto. de Horticultura
C.I.D.A.-Granada
Dir. Gral. Investigación Agraria (Junta Andalucía)



Fdo: Luis Mª Romero Monreal
Dr. Ciencias Biológicas
Profesor titular Biología Vegetal
Facultad de Ciencias
Universidad de Granada

Granada, Febrero 1996

Esta memoria ha sido realizada en el CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRARIO DE GRANADA, dependiente de la Dirección General de Investigación Agraria de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.

Los trabajos desarrollados han sido financiados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) en el marco de los proyectos de investigación INIA 8048 e INIA SC93-084.

Agradecimientos

En primer lugar quisiera expresar mi mayor agradecimiento al Dr. **Nicolás Castilla**, quién guío mis primeros pasos en el campo de la investigación. Sus constantes consejos, su clara visión de la Agronomía y fundamentalmente la gran confianza que desde el principio puso en mí son, sin duda, las principales causas de que este trabajo haya visto la luz.

Al Dr. **Luis M^a Romero**, además de por la codirección de este trabajo, debo agradecer su sincera amistad.

Gracias a la Dra. **Marisa Gallardo** por iniciarme en las técnicas de evaluación microclimática. Lamento que su paso por el departamento fuese tan breve.

Agradezco la colaboración y apoyo a mis compañeros del Departamento de Horticultura, Dra. **Aurea Guillén**, **Francisco Martínez** y especialmente a **Maribel Morales** y **Concepción Padilla** por el innumerable número de horas que han tenido que soportarme y por su gran disposición a prestar ayuda en los trabajos de campo y laboratorio.

Debo agradecer a **Jorge Tortosa**, **José M^a Montosa** y **Ricardo Avila**, técnicos especialistas agrarios que me brindaron, en todo momento, su gran experiencia en el manejo de los cultivos.

Quiero expresar mi gratitud a **José Pedro Casado** y **Araceli Cabello** cuya amistad fue un gran apoyo.

Gracias a D. **José Manuel Pozuelo**, Director del Laboratorio Agroalimétrico de Granada y al personal de los Departamentos de Foliar y Suelos por su inestimable colaboración en las determinaciones analíticas.

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a D. **Estanislao de Simón**, como Director del C.I.D.A. y hacerlo extensivo a todo el personal del Centro que desde el principio me acogieron dentro de su gran familia. A todo el personal de campo y especialmente a **Pepe, Miguel, José, José M^a, Paco, Antonio y Escobar** debo agradecer su excepcional ayuda en la implantación y seguimiento de las experiencias.

Por último debo dar las gracias a la Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía y, en su representación, al Director General D. **Francisco Nieto** por conceder las Becas del Plan de Formación del Personal Investigador que me han permitido poder realizar este trabajo.

A todos, muchas gracias.

A María amiga, esposa y madre.

1.- OBJETIVOS	1
2.- INTRODUCCIÓN	4
2.1. El cultivo	5
2.1.1. Descripción de la col china	5
2.1.1.1. Morfología	5
2.1.1.2. Clasificación taxonómica	6
2.1.2. Origen y distribución geográfica	8
2.1.3. Agronomía del cultivo	10
2.1.3.1. Cultivares	10
2.1.3.2. Densidad de plantación	11
2.1.3.3. Fertilización	12
2.1.4. Fisiología del desarrollo	12
2.1.5. Principales problemas del cultivo	16
2.1.5.1. Tipburn	16
2.1.5.2. Subida a flor	20
2.1.6. Postcosecha	22
2.1.7. Importancia económica	24
2.2. La técnica de cubiertas flotantes	26
2.2.1. El cultivo protegido y las cubiertas flotantes	26
2.2.2. Materiales de cubierta	28
2.2.2.1. Naturaleza química	28
2.2.2.2. Láminas	29
2.2.2.3. Velos permeables	30
2.2.2.4. Mallas	31

2.2.3. Microclima generado bajo las cubiertas	31
2.2.3.1. Radiación	32
2.2.3.2. Temperatura	35
2.2.3.3. Humedad	38
2.2.3.4. Otros parámetros	39
2.2.4. Efectos de la técnica sobre los cultivos	40
2.2.5. Manejo de las cubiertas flotantes	42
3.- MATERIAL Y MÉTODOS	45
3.1. Descripción general de los ensayos	46
3.1.1. Introducción	46
3.1.2. Ensayos principales	46
3.1.3. Ensayos anejos	52
3.1.3.1. Estudio de fechas de siembra	52
3.1.3.2. Estudio de utilización de herbicida	53
3.1.3.3. Estudio de utilización de abonado orgánico	53
3.2. Estudio microclimático	53
3.2.1. Estaciones agrometeorológicas	53
3.2.2. Temperatura	54
3.2.3. Radiación	55
3.2.4. Humedad relativa del aire	55
3.2.5. Viento	56
3.3. Niveles de CO ₂	56
3.4. Estudio del crecimiento	57
3.4.1. Procedimiento de campo	57
3.4.2. Procedimiento en laboratorio	58

3.4.3. Cálculo de los índices de crecimiento	59
3.5. Análisis de los materiales de cubierta	60
3.6. Análisis de suelos y agua de riego	60
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 Características del agua de riego y suelos	63
4.1.1. Agua de riego	63
4.1.2. Suelo	64
4.2. Análisis óptico de los materiales de cubierta	66
4.3. Datos climáticos	68
4.4. Caracterización microclimática de las cubiertas flotantes bajo lámina de PE y velo de PP	73
4.4.1. Humedad	73
4.4.1.1. Humedad relativa del aire	73
4.4.1.2. Humedad en suelo	76
4.4.2. Temperatura	78
4.4.2.1. Temperatura de aire	78
4.4.2.2. Temperatura de suelo	82
4.4.3. Radiación solar	85
4.4.4. Relación radiación-temperatura bajo cubierta	88
4.4.5. Influencia del viento	91
4.4.6. Cálculo teórico de temperatura bajo cubierta flotante	92
4.4.7. Concentración de CO ₂	96

4.5. Evaluación agronómica de las cubiertas flotantes.	99
4.5.1. Ensayos anejos	99
4.5.1.1. Estudio de fechas de siembra	99
4.5.1.2. Estudio de utilización de herbicida	110
4.5.1.3. Estudio de utilización de abonado orgánico	112
4.5.2. Ensayos principales	114
4.5.2.1. Estudio del cremiento. Año 1990	114
4.5.2.2. Estudio del cremiento. Año 1991	118
4.5.2.3. Estudio del cremiento. Año 1992	121
4.5.2.4. Estudio del cremiento. Año 1993	128
4.5.2.5. Extracción de nutrientes	135
4.5.2.6. Análisis comparativo del crecimiento durante los 4 años . . .	139
4.5.3. Estudio económico	142
5.- CONCLUSIONES	145
6.- BIBLIOGRAFÍA	148
7.- APENDICE I	
8.- APENDICE II	

1.- Objetivos

La creciente evolución de los costes de cultivo en invernaderos en el último decenio se ha traducido en una reciente estabilización de su superficie (en torno a 25.000 ha en la actualidad). El empleo de tunelillos al aire libre no se ha extendido debido a lo laborioso y costoso que resulta su instalación y manejo. Así, las zonas regables se encuentran con el problema de la escasez de opciones si desisten en la instalación de invernaderos o túneles. El problema se agrava en aquellas comarcas donde urge buscar cultivos alternativos a los convencionales.

La técnica de semiforzado de las cubiertas flotantes, consistente en la colocación de un material plástico (perforado o permeable) de forma horizontal entre dos caballones, permite crear un ambiente de cultivo donde las condiciones térmicas se mejoran notablemente sin necesidad de elementos estructurales que encarecen la implantación de cualquier sistema de forzado. La no necesidad de manipuleo para ventilación y la posibilidad de mecanizar la colocación de las cubiertas repercute directamente en la bajada de costos laborales.

El uso en España de dicha técnica es meramente testimonial, mientras que los países centroeuropeos apuestan por esta técnica como sistema de cultivo de bajo coste para conseguir una diversificación de cultivos con vistas, sobre todo, a conseguir una producción regular de hortalizas de cuarta gama de alta calidad y valor añadido.

La col china es en la actualidad un cultivo minoritario y destinado fundamentalmente a la exportación. Existe un período en el que el mercado se encuentra parcialmente desabastecido de este producto, pero es difícil, que bajo las condiciones climáticas de la Vega de Granada pueda planificarse una producción para atender dicho período. El bajo porte de la col china hace que su cultivo sea posible bajo cubierta flotante.

Es por todo lo anteriormente indicado que los objetivos que se plantearon fueron:

- Estudiar la viabilidad del cultivo de col china en ciclo de primavera en la Vega de Granada.
- Analizar la rentabilidad económica del uso de las cubiertas flotantes sobre este cultivo.
- Caracterizar las modificaciones microclimáticas que imponen el uso de las cubiertas flotantes, atendiendo fundamentalmente a la radiación, temperatura, humedad, viento y concentración de CO₂ bajo cubierta.
- Relacionar los parámetros climáticos al aire libre con los modificados bajo cubierta flotante, con especial interés en los regímenes térmicos.

2.- Introducción

2.1. EL CULTIVO

2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA COL CHINA

Bajo la acepción de coles chinas se engloban dos especies diferentes: *Brassica pekinensis* (Lour) Rupr. y *Brassica chinensis* L. (Maroto, 1983). Algunos autores las incluyen como subespecies dentro de *B. campestris*. (subespecies *pekinensis* y *chinensis* respectivamente). Aún es normal utilizar sus denominaciones chinas *petsai* (*B. pekinensis*) y *pack-choi* (*B. chinensis*). Las formas cultivadas son morfológicamente muy distintas, siendo la primera similar a una lechuga y la segunda tiene hojas parecidas a las de la acelga (de aquí que también se la denomine acelga china). Este trabajo trata solamente del cultivo de *B. pekinensis* (Lour) Rupr.

2.1.1.1. Morfología

Brassica pekinensis (Lour) Rupr. es una planta herbácea, bianual (en su zona nativa del Este Asiático) ó anual (bajo las condiciones de cultivo europeas) (Elers y Wiebe, 1984a), alógama de autoincompatibilidad no total y cuyas células poseen $2n=20$ cromosomas (Sánchez-Monge, 1981).

Las hojas tienen una forma más o menos espatulada con márgenes que van de ligeramente dentados a suavemente ciliados. La nerviación es muy marcada. El limbo foliar, que es grueso, se prolonga en forma de ala hasta la base de un peciolo ancho, llano y blanquecino. La disposición foliar es radial, con los peciolos insertos muy próximos entre sí de un modo casi decurrente sobre un tallo muy corto, dando el conjunto una planta en roseta. El cogollo, situado centralmente, se compone de hojas abrazadas entre sí, muy diferenciadas, escasamente pigmentadas y con nervios y peciolos mas patentes que en las hojas externas.

La raíz principal es pivotante, con escasa profundidad y abundantes raicillas

secundarias.

Las flores son amarillas y se agrupan en inflorescencias racemosas. Tienen 4 sépalos y 4 pétalos libres y dispuestos en cruz. Tienen 6 estambres y dos carpelos unidos formando un ovario súpero que generan un fruto en silicua con un pico corto.

Las semillas son pequeñas (aproximadamente hay de 250 a 300 semillas por gramo) y mantienen un buen poder germinativo durante 3 a 4 años en buenas condiciones de almacenamiento.

2.1.1.2. Clasificación taxonómica

Según Heywood (1985) la sistemática sería:

Clase ANGIOSPERMAE

Subclase DICOTYLEDONEAE

Superorden DILENIDAE

Orden CAPRALES

Fam. CRUCIFERAE

Tribu BRASICEA

Gen. BRASSICA

El nombre más aceptado actualmente es el de *B. pekinensis* (Lour) Rupr, aunque también es usual encontrarla como *B. campestris* ssp *pekinensis* (Lour) Olson.

Anteriormente fue descrita como *Sinapis pekinensis* Lour.

Li (1984) diferencia 4 variedades en función de características morfológicas, ecológicas y de producción comercial:

- A.- Var dissoluta Li. Hojas sueltas. Yema terminal poco desarrollada. No forma cabezas. Hojas en roseta, extendidas o erectas. Se cultiva en verano y primavera siendo la única dedicada exclusivamente para la alimentación ganadera.
- B.- Var. infarcta Li. La yema terminal está bien desarrollada. Forma cabezas huecas. La planta es alta y ancha y tiene también una roseta de hojas extendidas o erectas. Se cultiva en otoño y admite la conservación en frío.
- C.- Var Laxa. Tsen et Lee Yema terminal bien desarrollada que forma una cabeza sólida. Las puntas de las hojas se curvan hacia arriba y forman una cabeza con una cara superior muy vellosa. La planta es pequeña con una roseta de hojas abierta. Se cultiva en verano tardío u otoño temprano. Tiene escasa calidad y mala aptitud para el almacenamiento.
- D. Var. Cephalata Tsen et Lee Yema terminal bien desarrollada. Las hojas se solapan unas con otras formando una cabeza sólida. Se diferencian 3 formas:
- D1.- f. Ovata Li. Cabeza ovoide con un índice (altura/diámetro) de 1,5.

Yema con hojas plicadas. Los extremos de las hojas se cierran arriba pero sin solaparse. La roseta de hojas es abierta. Es un ecotipo marítimo adaptado a zonas de altas temperaturas y humedades del aire.

D2.- f Depresa Li Cabeza en cono invertido. Índice (altura/diámetro) de 1,0. Hojas exteriores de la yema conduplicadas. Extremos de hojas solapados. Roseta de hojas abiertas. Ecotipo continental adaptado a fluctuaciones térmicas de importancia, a gran insolación y a bajas humedades relativas de aire.

D3.- f Cylindrica Li Cabeza larga y cilíndrica con índice (altura/diámetro) mayor de 4.0. Yema terminal con hojas convolutas. Las hojas se agrupan pero no se solapan. La roseta es de hojas erectas y lanceoladas. Es un ecotipo mixto continental-marítimo.

Así pues, existen 6 tipos básicos que pueden cruzarse para dar diversos tipos cultivables de los cuales tan solo 5 son los usados en producción (CD1, CD3, D1D2, D1D3, D2D3).

2.1.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El origen de la col china ha sido bien descrito por Li (1981). La primera reseña bibliográfica se encuentra en un libro chino del siglo X denominado Ben-Cao-Tuo-Jing (Clásico Ilustrado de Hierbas Medicinales) que la describe como un planta de hojas sueltas, arrugadas, tan largas como abiertas y menos fibrosas que las del conocido pack-choi (*Brassica chinensis*). Esta definición corresponde a las formas primarias del cultivo.

La aparición de *Brassica pekinensis* pudo ocurrir por hibridación natural, en la zona media de China, del nabo (*Brassica rapa* L.) cultivado en la zona norte y del pack-choi (*Brassica chinensis* L.) cultivado en el sur del País. Esta hipótesis tradicional (ya indicada en el libro del siglo X anteriormente citado) ha sido confirmada mediante cruzamientos de diversas variedades de nabos del norte y pack-choi del sur que ha originado plantas de hojas delgadas, vellosas, con peciolo e hipocótilos gruesos, bien diferentes de sus progenitores y con características coincidentes con las formas cultivadas más primitivas. Los estudios cromosómicos confirmaron esta hipótesis. Las tres especies son $2n=20$. *B. chinensis* y *B. pekinensis* tienen idéntica formulación cromosómica (ABCDDEEFFF) *B. rapa* difiere en formulación (ABCDDEEEFF) pero los cromosomas E y F son idénticos a los de *B. pekinensis*.

En su originaria zona del oriente asiático es un cultivo de gran importancia económica. En China es la hortaliza más cultivada representando un 25 % del total de hortalizas consumidas, llegando al 80% en primavera e invierno (Li, 1981). En Japón es la tercera especie hortícola en cuanto a superficie y la segunda en producción (Matsamura, 1981). El consumo "per capita" en estos países asiáticos alcanza los 35,5 kg/habitante y año de consumo en Corea (Suh, 1981), o los 27 kg/habitante y año en Japón (Maroto, 1992) que contrastan con un práctico desconocimiento en los países occidentales. Por ejemplo, en Alemania el consumo es de 0,4 kg/habitante y año (Fritz, 1989). Como curiosidad cabe indicar que el uso principal en Corea es la elaboración de un plato local denominado Kimchii, cuya base es col china y rábano fermentados que constituye la mayor fuente de vitaminas de la dieta coreana (Suh, 1991).

El cultivo en Occidente fue, en principio, destinado al suministro de las colonias chinas de las principales ciudades europeas, cuya ocupación principal era la restauración y cuya proliferación empezó a hacerse sensible en la década de los setenta. En España la introducción se realizó a mediados de los años setenta (Castillo y col, 1986) fundamentalmente en el área mediterránea y con miras a la exportación (Vera y col., 1988). Otros países europeos iniciaron el cultivo en las mismas fechas (Welles, 1989)

aunque encontramos algún caso anterior como ocurrió en la ex-Yugoslavia donde empezó en 1962 (Cerne, 1989). Otros países se incorporan actualmente al mercado introduciendo el cultivo como alternativo o complementario a otros tradicionales, como es el caso de Turquía (Yazgan, 1989) que lo inicia en 1986. Se trata, pues, de un cultivo conocido en la práctica totalidad de los países europeos, aunque las mayores superficies de cultivo se encuentran en los países mediterráneos.

2.1.3. AGRONOMÍA DEL CULTIVO

2.1.3.1. Cultivares

Los cultivares comerciales son híbridos y pueden clasificarse atendiendo a su ciclo, desde siembra hasta madurez comercial, y/o a la forma de los cogollos. La madurez comercial es similar a la de la lechuga tipo iceberg y se alcanza cuando se desarrolla un cogollo compacto y un peso determinado.

En función del ciclo se pueden diferenciar:

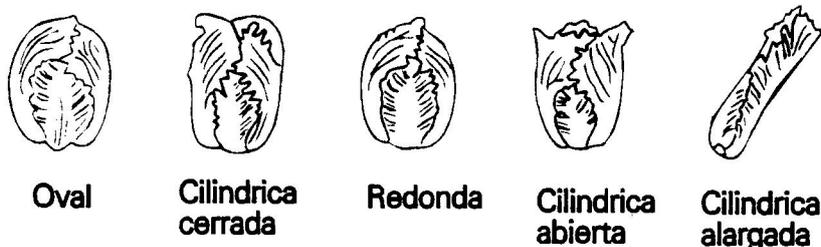
- Variedades tempranas o precoces. Sus ciclos suelen ser de menos de setenta días con siembras en primavera o verano.

- Variedades semitardías o de ciclo medio. Ciclos en torno a 80 días con siembras en verano o principios de otoño.

- Variedades tardías o de ciclo largo para siembras de otoño-invierno y recolecciones en invierno-primavera. Suelen tener gran resistencia al frío y a la subida a flor.

Existen variedades específicas para su uso en invernadero, donde los ciclos culturales son diferentes a los descritos.

En función de la forma del cogollo podemos distinguir entre:



El tipo de cada una se define por la relación altura/diámetro del cogollo en madurez comercial (limpio de hojas exteriores), que sería superior a 4 en la cilíndrica alargada y entre 1 y 1,5 en las ovals.

Los cultivares comerciales suelen incorporar características genéticas de tolerancia al frío, a la subida prematura a flor, al tipburn, a virosis (fundamentalmente al virus del mosaico del nabo TuMV) y a los hongos más comunes (mildiu, oidio y fusarium). Un catálogo con las variedades comerciales más comunes puede encontrarse en Marín (1995).

2.1.3.2. Densidad de plantación

El marco de plantación elegido estará supeditado, fundamentalmente, al ciclo de cultivo, cultivar (cultivares precoces y ciclos tempranos imponen marcos estrechos) y al peso medio de cogollos que deseemos obtener ya que altas densidades de plantación conducen a cogollos de bajo peso unitario (Hill, 1990).

Los marcos habituales oscilan entre 30-60 cm entre líneas de cultivo y entre 20-40 cm entre plantas (de 16,7 a 4,2 plantas/m²).

Puede utilizarse siembra directa aunque es recomendable el trasplante con plántulas crecidas a temperaturas superiores a 16-18 °C, para limitar la subida a flor (ver

apartados 2.1.4. y 2.1.5.2.)

2.1.3.3. Fertilización

Takahashi (1981) recopiló las extracciones de nutrientes de ocho variedades de col china y cifra la media de éstas para producir una tonelada de coles en 2,26/0,22/2,19/0,87/0,15 kilogramos de N/P/K/Ca/Mg respectivamente. Este autor aconsejó, para obtener una cosecha total de 70.000 kg/ha, la aplicación de 240/88/166 kilogramos de N/P/K por hectárea, de los cuales 140/88/166 deben ser aplicados en fondo, y el resto en cobertera fraccionado en tres aplicaciones idénticas. Matsamura (1981) y Suh (1991) recomendaron como fertilización media 200-300/200/250-300 kg/ha de N/P₂O₅/K₂O respectivamente. Maroto (1988), para cultivos en el litoral mediterráneo español, indicó como fertilización media por hectárea 12 toneladas de estiércol, 360 kg de sulfato amónico, 350 kg de superfosfato de cal y 400 kg de sulfato potásico en fondo y 200-250 kg de nitrosulfato amónico en cobertera (para rendimientos medios entre 40-60 tm/ha).

Es aconsejable la aplicación en cobertera de nitrógeno y potasio ya que los requerimientos de estos crecen con la edad de la planta y fundamentalmente cuando se inicia la fase de acogollado. La movilidad en suelo del nitrógeno y la relación directa existente entre su dosis y el peso medio de los cogollos (Hill, 1990) enfatizan el interés de las coberteras nitrogenadas, preferentemente en forma nítrica ya que las formas amoniacales han sido relacionadas con la incidencia del tipburn (Imai, 1987, 1988, 1990; Takahashi, 1981).

2.1.4. FISIOLÓGÍA DEL DESARROLLO

Nakamura (1976) (citado por Maroto, 1983) distinguió, en el desarrollo de la planta, hasta cinco fases:

- I.- Crecimiento
- II.- Incremento máximo del número de hojas
- III.- Incremento máximo del peso de hojas
- IV.- Incremento de peso en el cogollo
- V.- Período de recolección.

Cada una de estas fases viene definida por un rango de temperaturas del aire óptimas. Así, en germinación este rango está entre 18 y 22 °C. La fase I y hasta la mitad de la fase II tiene un óptimo entre 18 y 20 °C. Desde mediados de la fase II hasta la III, incluida ésta, el óptimo baja hasta 15-16°C. Las fases IV y V sitúan su óptimo entre 10-13 °C. Estos umbrales pueden variar en función del cultivar utilizado.

Sin embargo, para definir el crecimiento mediante hitos fisiológicos de importancia habría que distinguir tres períodos:

- I.- Germinación
- II.- Incremento en nº de hojas
- III.- Acogollado

I.- Germinación:

Nakamura (1976) (citado por Maroto, 1983) cifra la temperatura óptima de germinación entre 18 y 22°C, mientras que Runham (1992) y Heij (1989) indican que es suficiente entre 18 y 20°C, diferenciando este segundo autor entre temperaturas óptimas de día (20°C) y noche (18°C). Utilizando estas temperaturas óptimas de un modo constante la germinación ocurre en 2-3 días.

Son muchos los estudios que han relacionado la integral térmica con los distintos estadios fenológicos (incluyendo la germinación) para diversos cultivos . Utilizando la formula de Bierhuizen y Wagenvoort (1974) puede conocerse la integral térmica (S) en grados-día que debe alcanzar un cultivo para conseguir el cincuenta por ciento de

germinación.

$$T = \frac{S}{t} + T_{\min}$$

donde:

$T = T^a$ de suelo en °C

$T_{\min} = T^a$ mínima de germinación en °C

$t =$ tiempo para alcanzar el 50% de germinación en días

$S =$ grados-día para 50% germinación

Zee (1981) desarrolló esta fórmula con once cultivares diferentes obteniendo que S osciló entre 49 y 63 grados-día y las temperaturas mínimas de germinación fueron de 0,9 a 4,1 °C.

II.- Incremento en el n° de hojas:

La col china tiene una gran eficiencia fotosintética (Peron, 1983) y un crecimiento que sigue una cinética de primer orden del tipo:

$$\ln W_t = \ln W_0 + kt$$

donde:

W_t : peso en el tiempo t

W_0 : peso en plantación

K oscila entre 0,094 y 0,067 (Spiegel y col., 1988).

Esto indica que la planta crece con rapidez desarrollando gran cantidad de hojas.

Las hojas que se forman en esta etapa tienen amplias alas foliares, peciolo desarrollado, están intensamente pigmentadas y van a constituir las hojas exteriores del futuro cogollo. Su desarrollo es un proceso dependiente de la temperatura (Benoit y

Ceustemans, 1990a) y se requieren altas integrales térmicas para iniciar tantas hojas como sea posible para la posterior formación del cogollo (Runham, 1992).

III.- Acogollado:

El proceso de acogollado comienza después de 40-50 días tras la germinación y se inicia con la diferenciación de las hojas internas cuya morfogénesis es dependiente de la luz (Benoit y Ceustemans, 1990a). Kwon (1992) describe a la planta como exigente en radiación y comprueba como la producción decae linealmente con la reducción de radiación, disminuyendo el número de hojas.

Las hojas externas u hojas de cubierta aportan los asimilados necesarios a las hojas internas (de escasa o nula actividad fotosintética y por otro lado ayudan a establecer la denominada postura de formación del cogollo.

Sobre los 25 días de la germinación las hojas internas se orientan hacia arriba y se inicia el proceso de acogollado. Unos 10 días después las alas foliares adoptan una disposición cerrada en forma de copa. Las hojas de la periferia tienen largos peciolo mientras que las internas se hacen sésiles (Kato, 1981) y empiezan a curvarse y a unirse mediante estructuras en gancho (Kuo y col. 1988). El grado de curvatura de los nervios principales de las hojas centrales, así como el crecimiento en longitud y anchura de estas está determinado por la luz recibida por las hojas exteriores (Benoit y Ceustemans, 1990a) fundamentalmente por el sombreado que proporcionan las hojas de cubierta. Así, cuanto mayor sea la iluminación, mayor número de hojas externas serán necesarias.

Todos estos movimientos foliares se ven afectados por la concentración de auxinas y por la relación carbono/nitrógeno, que son altas en las hojas internas. Los movimientos de los peciolo parecen estar controlados por el etileno (Kato, 1981)

En todo este proceso es de vital importancia alcanzar un óptimo grado de turgencia en hoja, requisito imprescindible para la erección foliar y la formación de

estructuras en gancho, estableciéndose una diferencia entre cultivares tolerantes y sensibles al calor, ya que temperaturas superiores a 25°C impiden a las variedades no tolerantes formar cogollos. La tolerancia al calor está controlada por un único gen recesivo (Opena y Lo, 1979). Esta tolerancia se desarrolla mediante una bajada en el potencial osmótico de las células mediante la acumulación de solutos que aumentan la conductividad eléctrica (Kuo y Tsay, 1981), mediante hojas más gruesas, mayor contenido en clorofilas y menor número de estomas que las variedades sensibles al calor. Estas características facilitan el transporte de agua a las hojas y reducen la transpiración permitiendo la turgencia necesaria para la formación de cogollos a altas temperaturas (Kuo y col., 1988).

Una vez asegurada la turgencia e iniciada la diferenciación foliar se establece la postura de formación del cogollo continuando el proceso de acogollado mediante la incorporación de nuevas hojas interiores.

2.1.5. PRINCIPALES PROBLEMAS DEL CULTIVO

El cultivo de col china presenta dos grandes problemas de manejo relacionados muy directamente con fenómenos fisiológicos. El primero es una fisiopatía denominada "tipburn" y el segundo es el desarrollo prematuro de la inflorescencia o "subida a flor".

2.1.5.1. 'Tipburn'

El término "tipburn", que podría traducirse como "quemadura de puntas" ó "necrosis marginal", es una fisiopatía que afecta a gran número de especies hortícolas y es uno de los problemas más graves que presenta el cultivo de col china (Maroto y col., 1988).

Los primeros síntomas se observan en los márgenes de las hojas jóvenes que se

desechan tomando una coloración parduzca. Los tejidos afectados se tornan blandos debido a una disolución de las paredes celulares y se acumulan sustancias pigmentadas en los espacios intracelulares y en los tejidos vasculares (Lucena, 1992). Cuando estos síntomas aparecen exclusivamente localizados en las hojas externas constituyen el denominado tipburn externo (ó marginal rot), que es, en cierto modo, controlable y cuyas mermas en producción comercial son pocas en comparación con el tipburn de corazón ó cogollo (heart rot) que suele presentarse cuando se ha iniciado la fase de acogollado y se une a infecciones bacterianas, fundamentalmente de *Erwinia carotovora* (Takahashi, 1981), originando podredumbres blandas sobre el cogollo que lo hacen comercialmente desechable.

Son muchas la causas citadas en la bibliografía que conducen al desarrollo de esta fisiopatía, pero es la falta de disponibilidad de calcio por los tejidos afectados la más citada. Shear (1975) recoge hasta 36 fisiopatías en 22 cultivos diferentes relacionadas con el calcio.

El calcio es un macroelemento cuya concentración en la solución del suelo varía entre 3,4 y 14 mM y cuya absorción por las raíces depende de la tasa transpirativa (Bangerth, 1979). El suministro desde el suelo puede verse afectado por la presencia de iones antagonistas como potasio, magnesio y amonio (Bangerth, 1979; Collier, 1982) o por los bicarbonatos que precipitan como carbonatos cálcicos secuestrando el calcio libre (Sonneveld y van Ende, 1975). El transporte en planta es fundamentalmente xilemático dependiente de la transpiración o de la presión radicular cuando la corriente transpiratoria está limitada y se favorecen los procesos de gutación. El papel del calcio es el de fortalecer y mantener la integridad de las paredes celulares (Bangerth, 1979; Fritz y col., 1988; Lucena, 1992).

Son muchos los autores que al analizar los contenidos de calcio en hojas con síntomas de tipburn han observado que la concentración es inferior a la encontrada en hojas sanas. (Wiebe y col., 1977; Takahashi, 1981; Collier, 1982; Maroto y col, 1988;

Pressman y col., 1993). Este hecho es paralelo a lo que ocurre en plantas formadoras de cogollo en las que las hojas externas, que están más expuestas al ambiente con lo que pueden transpirar libremente (Collier, 1982), acumulan más calcio que las internas (Kuo y col., 1981; Wiebe y col., 1977) al estar la movilidad de este ión en hoja ligado a la corriente transpiratoria. Las hojas jóvenes, que se desarrollan internamente, necesitan grandes contenidos de calcio para la formación de las membranas celulares. Sin embargo, el hecho de ser escasamente transpirativas conduce a que el calcio se desvie hacia hojas más funcionales en transpiración. Cuando la humedad relativa ambiente es elevada los problemas de tipburn decrecen (Kuo y col., 1981; van Berkel, 1988), debido a que se inhibe la transpiración estimulándose los flujos por presión radicular que conducen a la gutación y que llevan el calcio a las hojas jóvenes (Palzkill y Tibbits, 1977, Kuo y col., 1981; Bible y Sthiel, 1986; Maroto, 1990). El efecto de aumentar la humedad relativa es más eficaz cuando se realiza durante la noche cubriendo el cultivo con una lámina de polietileno (Bible y Sthiel, 1986; van Berkel, 1988). Palzkill y col. indican que una humedad relativa alta pero constante (día y noche) induce al tipburn. De modo que el manejo correcto sería cubrir la planta durante la noche para dejarla libre durante el día.

Se ha indicado también que períodos con altas tasas de crecimiento inducen episodios de tipburn (Imai, 1987; van Berkel, 1988; Imai y col., 1988; Gruesbeck y Zandstra, 1988) mediante déficit de calcio, ya que un mayor desarrollo celular va a requerir mayor demanda de calcio por unidad de tiempo.

La concentración de la solución nutritiva también afecta al desarrollo de la fisiopatía. Van Berkel (1988) encontró que plantas regadas con soluciones con baja concentración de nutrientes (conductividad eléctrica de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$) estaban virtualmente libres de tipburn, lo que no ocurría cuando se utilizaron concentraciones superiores (3 y $4,5 \text{ dSm}^{-1}$). La concentración salina de la solución nutritiva afecta al tipburn modificando la disponibilidad y el transporte del calcio (Sonneveld y van Ende, 1975; Rengel, 1992). Además, un exceso de sodio hace que este ión se adhiera a las

endomembranas provocándoles una pérdida de estructura lo que favorece la disolución de estas.

Takahashi (1981) apuntó que el uso de soluciones nutritivas con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal conduce a la aparición de tipburn de cogollo. Esta idea ha sido desarrollada por Imai (1987; 1988; 1990) el cual sugirió que la toxicidad por amonio provoca daños en la raíces que llevan a la planta a situaciones de estrés hídrico y por tanto, de un forma secundaria, a deficiencias en los contenidos de calcio. Según este autor, además, el amonio limita el desarrollo e impone altas tasas iniciales de crecimiento.

El boro ha sido también relacionado con la aparición del tipburn. Kuo y col. (1981) indican que su deficiencia es por sí sola capaz de provocar los síntomas y que su efecto es sinérgico cuando se une a una deficiencia de calcio.

Para prevenir el desarrollo de la fisiopatía hay que hacer un manejo del cultivo que evite las causas descritas que la provocan. Habrá, por tanto, que:

- Aumentar la humedad nocturna del aire.
- Evitar altas tasas de crecimiento.
- Utilizar soluciones nutritivas poco concentradas, fraccionar la aplicación de fertilizantes y aportar una nutrición equilibrada.
- Utilizar preferentemente el nitrógeno en forma nítrica en lugar de en forma amoniacal.

Además, las aplicaciones foliares de sales cálcicas pueden ser de utilidad, fundamentalmente para el tipburn externo, aunque su eficacia es escasa cuando la planta ha iniciado el proceso de acogollado. Normalmente se aplica un abono foliar rico en calcio o bien una disolución de cloruro cálcico puro al 0,3-0,6 %.

Debido a que existe un claro efecto varietal (Maroto y col., 1988) es preferible

la utilización de cultivares que presentan resistencia al tipburn (Wlodzmiarz y Weston, 1989). Para conseguir plantas resistentes, Kramer (1989) propuso la hibridación con el pack-choi (*Brassica chinensis*) que no presentan problemas de tipburn. La F_1 no es resistente pero si lo es la F_3 . Del retrocruzamiento de esta F_3 con su parental (*B. pekinensis*) se obtiene una col china resistente.

2.1.5.2. Subida a flor

La col china es una planta de día largo y que requiere un estímulo vernalizante para la inducción floral (Pressman y Negbi, 1981).

Fernández y col. (1994) valoran esta vernalización como de "efecto posterior" según el cual para que se manifieste el efecto vernalizante de las bajas temperaturas es necesario que la planta retorne a temperaturas altas, a diferencia de las plantas con "efecto directo", las cuales permanecen en estado vegetativo si no inician la inflorescencia tras el período vernalizante.

Son muchas las plantas que son receptivas a estímulos vernalizantes en el período de semilla, e incluso algunas lo son cuando aún se están formando dentro de la planta madre. Otras, sin embargo, tienen una fase denominada "juvenil" durante la cual no responde a estímulos (Booij y Struick, 1990). Conocer el momento en que la planta abandona este estado de juventud es, pues, interesante a la hora de aplicar o proteger de las bajas temperaturas inductoras. En coliflor, por ejemplo, el número de hojas es un buen indicador para definir el estado de madurez (Hand y Atherton, 1987; Booij y Struick, 1990; Wurr y col., 1993 y 1994). Sin embargo en col china no existe este período juvenil y la planta es receptiva prácticamente desde el principio. De toda la bibliografía consultada, solamente Nakamura (1976) (citado por Maroto, 1983) indicó la posibilidad de que la planta sea receptiva en estado de semilla mientras que el resto de autores situaron los umbrales de inicio de la vernalización tras la siembra. Shinohara y col. (1981) señalaron al meristemo apical de la planta o al embrión recién emergido

como los puntos receptores para los estímulos vernalizante con lo que no sería posible la vernalización en estado de semilla. En el mismo sentido se pronunciaron Elers y Wiebe (1984a), indicando que la emergencia de la radícula es la señal para incrementar la actividad mitótica del ápice del tallo que es el receptor de la inducción vernalizante. Wiebe (1990) documentó que la sensibilización comienza con la germinación y Heij (1989) indicó que el período receptivo continua en estado de joven plántula. Elers y Wiebe (1984a) extendieron este período a toda la vida de la planta.

Existe una temperatura óptima de vernalización, (que varía según el cultivar) que sería aquella que conduce más rápidamente a la inducción floral. Además, existe un rango de temperaturas por encima y por debajo de los cuales se requieren mayores períodos de aplicación para resultar inductivas (Fernández y col., 1994). Elers y Wiebe (1984a) cifraron este óptimo entre 5-8 °C que, aplicados durante una semana, provocaron un ligero efecto y durante tres lograron una vernalización completa. Palada y col. (1987) describieron como vernalizante a cualquier temperatura inferior a 10°C mientras que Kramer (1989) cifró el óptimo en 5°C durante dos semanas.

La floración también está influenciada por el fotoperíodo. Días largos promueven el desarrollo del tallo floral y en condiciones de luz continua las plantas desarrollan las inflorescencias, incluso cuando no se ha aplicado la vernalización (Shin y col., 1989). Sin embargo el efecto vernalizante es superior al del fotoperíodo (Kramer, 1989). Matsui y col. (1981), que desarrollaron un modelo matemático para explicar ambos efectos, indicaron que la longitud del día es más importante que el grado de las bajas temperaturas pero menos que la duración de las mismas. El efecto del fotoperíodo parece ser más cualitativo que cuantitativo (Moe y Guttormsen, 1985)

Para evitar el desarrollo de la inflorescencia, que deprecia el producto comercial, hay que evitar las temperaturas vernalizantes y los días largos o bien utilizar acciones desvernalizantes. Así, Guttormsen (1981) aconsejó mantener la planta en semillero a temperatura constante superior a 16°C durante tres semanas tras la germinación. Además

indicó que pueden permitirse bajas temperaturas nocturnas vernalizantes si se alternan con temperaturas diurnas elevadas. En este mismo sentido Wiebe y Liebig (1989) desarrollaron un modelo para colinabo que permite la utilización de temperaturas mínimas críticas siempre y cuando se apliquen temperaturas desvernalizantes durante un tiempo suficiente para anular el efecto vernalizante generado por las temperaturas críticas. Elers y Wiebe (1984b) observaron cierto retraso en la aparición de la inflorescencia cuando usaron trasplantes muy pequeños. Sin embargo esta opción no es muy fiable ya que Guttormsen (1981) obtuvo el mismo efecto de retraso cuando utilizó trasplantes envejecidos.

Hay que diferenciar el efecto de la vernalización entre cultivares sensibles y tolerantes a las altas temperaturas. Para los primeros la temperatura tras emergencia debe ser mayor a 18°C y para las tolerantes deben ser superiores a 24°C (Guttormsen y Moe, 1985) para evitar la inducción.

2.1.6. POSTCOSECHA

Tras la recolección deben ser eliminadas las hojas exteriores que son gruesas y fuertemente pigmentadas hasta dejar un cogollo compacto, firme y de color y forma homogéneas (según tipo).

La clasificación por calibres, el tipo de envasado y el tamaño comercial de la col es función del mercado de origen. En un principio se tendió hacia la producción de grandes cogollos, que en algunos casos, sobrepasaban los dos kilogramos. Actualmente la tendencia del mercado es hacia piezas más pequeñas, de alrededor de un kilogramo, que se envasan en polietileno retráctil. No es extraño encontrar elaboraciones que presentan varias piezas pequeñas que alcanzan en su conjunto poco más de un kilogramo.

La conservación debe realizarse en cámara frigorífica entre 0 y 1°C (Maroto y col., 1983). La duración máxima de almacenaje (normalmente entre tres y cuatro semanas) depende del cultivar utilizado, de la composición atmosférica de la cámara frigorífica, del riesgo de fisiopatías y del manejo que se aplicó al cultivo.

Durante el almacenamiento en frío los niveles de ácido abscísico y etileno, promotores de la senescencia foliar, se incrementan. Wang y Ji (1988) comprobaron que, al bajar los niveles de oxígeno de la cámara de almacenamiento hasta un uno por ciento, los niveles de ABA descendieron a la mitad y los de etileno y sus precursores también lo hicieron de un modo significativo. Así, modificar la atmósfera de almacenamiento puede ser de utilidad para alargar la vida media del producto comercial (técnica de almacenamiento en atmósfera controlada).

Fritz y Weichman (1981), encontraron una relación directa entre la pérdida de calidad del producto durante su almacenamiento y la humedad relativa, pluviometría, horas de sol y temperatura a los que estuvo sometido el cultivo. En el mismo sentido Igarashi y col. (1993) encontraron relación entre el grado de podredumbres bacterianas durante el almacenamiento y altas temperaturas medias de cultivo, pero no encontró relación ni con el número de horas de sol ni con la pluviometría. Es obvio que existe una pérdida de calidad del producto almacenado en función del número de días de almacenaje.

El principal desorden fisiológico que aparece durante el almacenamiento en frío es conocido como "gomasho" o manchado de peciolo, cuyo primer síntoma es la aparición sobre el peciolo de las hojas externas de unas manchas negras, del tamaño y apariencia de semillas de sésamo, que se extienden hasta afectar a las hojas medias. Al microscopio se observa que la mancha primero se localiza sobre las paredes celulares para posteriormente invadir el citoplasma. Así cada mancha visible es el resultado de la destrucción citoplasmática de un grupo entre cinco y diez células (Takahashi, 1981). Phillips y Gersbach (1989), que encontraron el máximo de incidencia entre catorce y

veintiocho días de almacenamiento, indican que además de un claro efecto varietal, la fertilización juega un papel primordial en el desarrollo de la fisiopatía. Estos autores relatan que altas dosis de fosfatos o nitrógeno aumentan la incidencia. Además el tipo de fuente de fertilización nitrogenada también afecta, ya que el abono en forma de nitrato amónico provoca mayores daños que en forma de urea. Takahashi (1981) anteriormente ya había indicado que la causa del manchado era un desorden en el metabolismo del nitrógeno que es acelerado cuando se aplican grandes aportes nitrogenados tras el período de formación de los cogollos. Matsamura (1981) indica que altas dosis de magnesio o manganeso y bajas de boro y hierro también se encuentran relacionadas con la aparición de este desorden.

2.1.7. IMPORTANCIA ECONÓMICA

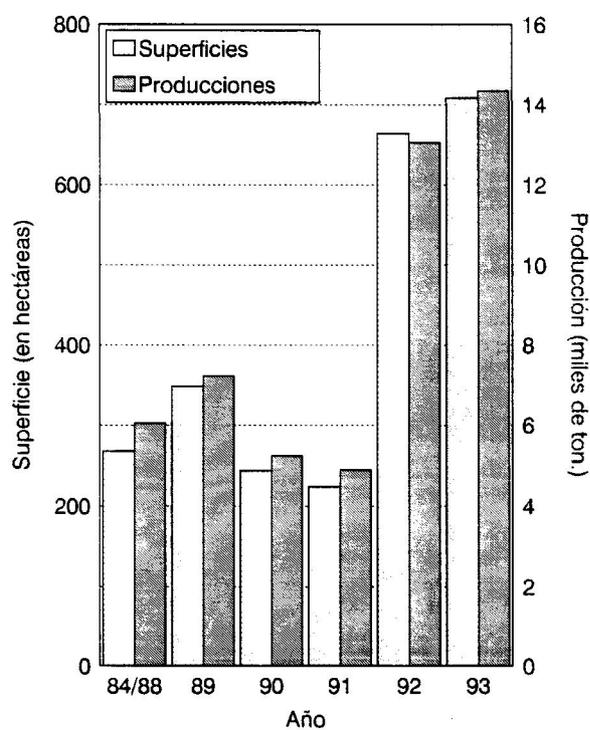
El consumo interno de col china en España es muy escaso, estando la producción destinada casi en su totalidad a la exportación. Las mayores posibilidades de exportación se centran en el período comprendido entre finales de noviembre y mayo. En el subperíodo de febrero a mayo los mercados europeos se encuentran poco abastecidos por los proveedores habituales (Maroto y col., 1986). En el año 1992 la exportación española total fue de 27.056 tm siendo Alemania, Holanda, Dinamarca, Reino Unido y Francia, por este orden, los principales destinatarios (Anuario de Horticultura Española, 1993). En la tabla nº 1 pueden observarse las exportaciones mensuales de dicho año.

No existen estadísticas de producción y superficies a nivel nacional ya que quedan englobados dentro del epígrafe de "otras coles" pero si las hay para el campo andaluz. En la figura nº 1 puede verse la evolución de superficies cultivadas y producción en Andalucía durante los últimos años.

Tabla nº1. Exportaciones españolas mensuales de col china en 1992

Meses	Toneladas
Enero	1.773
Febrero	6.312
Marzo	7.999
Abril	10.386
Mayo	562
Junio	14
Julio	9
Agosto	2
Septiembre	0
Octubre	50
Noviembre	188
Diciembre	262

Figura nº 1. Superficies cultivadas de col china en Andalucía en 1992.



2.2. LA TÉCNICA DE CUBIERTAS FLOTANTES

2.2.1. EL CULTIVO PROTEGIDO Y LAS CUBIERTAS FLOTANTES

Aunque el término "forzado" ó "protegido" implica la producción por conductos distintos a los naturales (dentro de los cuales podría incluirse, por ejemplo, desde la aplicación de fitoreguladores hasta la producción sobre sustratos distintos al suelo convencional), en general este término suele restringirse a aquellas técnicas de protección climática que posibilita una cosecha más precoz o más tardía (Maroto, 1993)

Cuando este sistema de protección se aplica solamente en algunas fases del cultivo se habla de semiforzado. Habitualmente, el cultivo es protegido en sus primeros estadios de desarrollo, cuando se pretende adelantar su ciclo cultural normal pero también puede utilizarse en etapas mas adelantadas cuando lo que se pretende es alargar o retrasar dichos ciclos.

Según Wittwer y Castilla (1995) la técnica de protección consiste en la colocación de una pantalla o cubierta que altera los intercambios energéticos entre las plantas y el medio circundante. Según la posición de esta pantalla respecto al cultivo pueden diferenciarse 4 tipos de semiforzados:

Acolchado de suelos: Cubierta sobre el suelo, bajo las partes aéreas de las plantas

Cortavientos: Pantalla lateral al cultivo.

Pequeño túnel: Cubierta sobre el cultivo, sin entrar en contacto con él.

Cubierta flotante: Cubierta sobre el cultivo, entrando en contacto con él.

Cubiertas flotantes

Una definición simplificadora es la expresada por Wells y Loy (1985) según la cual se trata de una cubierta flexible y transmisiva a la radiación, instalada sobre una o

múltiples líneas de cultivo, soportada o no por arquillos, para mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas.

Esta definición incluiría a las cubiertas flotantes (direct cover ó floating mulch) y al pequeño túnel (row cover ó low tunnel) en función de la ausencia o presencia de elementos de soporte o arquillos.

Una definición más amplia es la que define a las cubiertas flotantes como la colocación sobre un cultivo de una lámina flexible de plástico perforado, velo permeable o malla que altera las condiciones microclimáticas del entorno protegido, al generar efectos túnel (ver apartado 2.2.3.2.) y cortavientos (ver apartado 2.2.3.4.). La lámina puede estar apoyada por el cultivo, que la eleva con su crecimiento o bien puede adoptar una disposición plana, fijándola en caballones y dejando un pequeña cámara de cultivo de 15-20 cm de altura (Hernández y Castilla, 1993).

El uso de esta técnica se inició en Alemania en 1971 (Benoit y col., 1986) pero no fue aplicado a gran escala hasta 1978 (Benoit y Ceustermans, 1985). En los países de la área mediterránea es una técnica poco extendida, salvo en el caso de Francia donde alcanza 8.000 ha (Castilla y Hernández, 1994), precisamente lejos del litoral mediterráneo, siendo su uso más común en países del centro y este de Europa así como en Inglaterra donde la superficie cubierta con esta técnica fue cifrada en más de 8.000 ha en 1988 (Greenfield, 1989). En España su utilización es muy escasa en el cultivo al aire libre, siendo utilizada fundamentalmente en semilleros e invernaderos para limitar los ataques de insectos, especialmente de los vectores de virosis (áfidos, trips, etc.). Gerst (1993) estimó, para 1990, una superficie europea de 40.500 ha similar a la citada por Wittwer y Castilla (1995) (37.300).

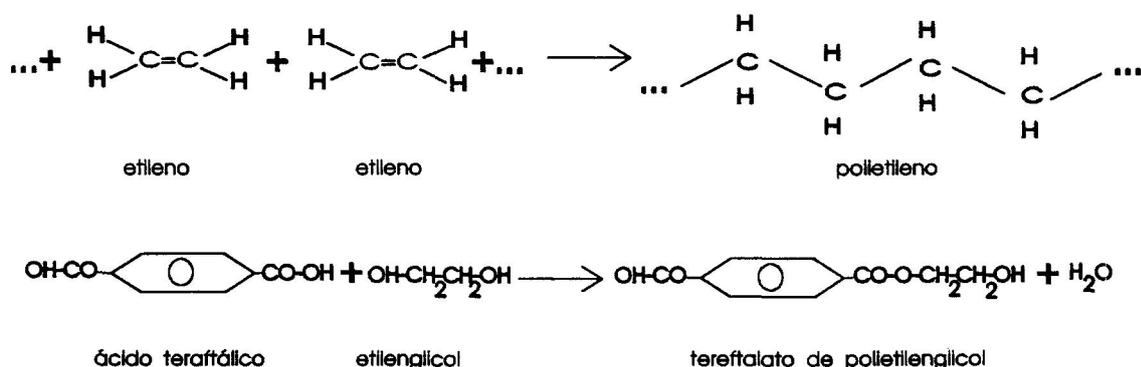
2.2.2. MATERIALES DE CUBIERTA

2.2.2.1. Naturaleza química

Los principales materiales de cubierta utilizados se agrupan en 4 familias:

- Poliolefinas (Polietileno -PE- y polipropileno -PP-) fundamentalmente
- Polímeros vinílicos (EVA)
- Poliamidas (Poliamida 6; 6-6; 6-10, 11, 12)
- Poliesteres saturados o lineales (tereftalato de polietilenglicol -PET-)

La síntesis de las dos primeras familias se realiza por un proceso de polimerización según la cual los monómeros son unidos sin eliminar ningún residuo de síntesis y las dos siguientes sufren un proceso de policondensación o poliadicción mediante la cual se unen grupos funcionales diferentes que generan como residuo, agua, amoníaco, ácido clorhídrico, etc. (Macca, 1992.) Un ejemplo de ambos procesos puede ser la polimerización del PE y la policondensación del PET:



Los polímeros pueden constituirse en 3 tipos de materiales: láminas, velos y mallas.

2.2.2.2. Láminas

En cubierta flotante se usan fundamentalmente el polietileno de baja densidad y el copolímero de acetato de vinilo (EVA).

El PE obtenido por la polimerización del etileno mediante la aplicación de presión, temperatura y un catalizador (que rompen el doble enlace monomérico), es transformado en gránulos o granza que es el punto de partida para la fabricación de las láminas mediante un proceso industrial denominado estriasen. La granza es comprimida y fundida en una extrusora. Una fuerte corriente de aire forma una burbuja tabular de este fundido, que es elevada, recogida y cortada a lo largo de una generatriz. Durante el proceso pueden coextruirse varias láminas con distintos tipos de PE y/u otros polímeros dando láminas multicapa que aunan las ventajas de los distintos materiales de los que están compuestas.

El PE puede ser aditivado mediante la adición de antioxidantes, pigmentos, estabilizadores de luz, agentes minerales, etc., que mejoran sus características iniciales.

El desarrollo del PE de baja densidad lineal, conseguido mediante la polimerización del etileno con otro monómero (buteno, hexeno, octeno, etc.) ha permitido reducir los espesores de las láminas utilizadas ya que este material tiene un mayor resistencia mecánica (Robledo y Martín, 1988).

El copolímero EVA es el resultado de la introducción de un segundo monómero, el acetato de vinilo, en la polimerización del PE. Este monómero, de naturaleza polar y mayor volumen molecular se comporta como una cadena lateral corta que mejora la densidad, claridad, permeabilidad, solubilidad, flexibilidad, resistencia a la fisuración y disminuye la rigidez y dureza superficial del PE (Robledo y Martín, 1988). La proporción usual de EVA utilizada en las láminas empleadas en cubiertas flotantes está entre el 6 y el 12%.

Las láminas deben perforarse para permeabilizarlas y permitir la ventilación, el intercambio gaseoso, así como posibilitar los riegos. Aunque existe en el mercado un material microperforado de PE lineal de baja densidad con pequeñas microperforaciones de 1 milímetro de diámetro y una densidad de 2500 perforaciones por metro cuadrado (Gerst, 1993) fabricado especialmente para su uso como cubierta flotante, lo más usual es la realización de perforaciones de mayor tamaño. Puede considerarse como lámina estandar aquella de 50 μ de espesor con 500 perforaciones de 1 cm de diámetro por metro cuadrado (lo que supone un 4% de superficie perforada). En lugares de fuertes vientos hay que aumentar el número de perforaciones (800-1000 perforaciones/m²).

2.2.2.3. Velos

Los velos son materiales no tejidos constituidos a base de polipropileno mediante un proceso industrial denominado "spunbonded" o termosoldado el cual se divide en 4 fases (Gregoire, 1989):

- Fase I. Homogeneización y mezclado del polímero con sus posibles aditivos.
- Fase II. Extrusión y enfriado. Se obtienen filamentos de diámetro inferior a 20-25 μ .
- Fase III. Distribución de los filamentos en láminas de la forma más isotrópica posible.
- Fase IV. Termosoldado de los filamentos

Una lámina de 1 m² de este material, con un peso de 17 gr/m² contienen hasta 1500 filamentos que alineados alcanzarían unos 50 km de longitud.

La resistencia intrínseca de los filamentos unida a la que suministra la termosoldadura explica el aceptable comportamiento ante el desgarrado de velo de escaso espesor.

Como estandar para su uso como cubierta flotante puede considerarse a un velo de 17 gr/m² , con una porosidad (superficie libre/superficie total) de un 90%.

2.2.2.4. Mallas

Las mallas o redes se obtienen a partir de filamentos cuya consolidación puede realizarse mediante tejedoras (mallas tejidas) o de algún otro modo (mallas no tejidas). Los materiales base de fabricación son poliamidas, poliésteres, polietileno, polipropileno, fibras de vidrio, etc.. que una vez consolidados suministran productos de alta permeabilidad y porosidad, una baja razón peso/superficie y una buena resistencia al desgarro (Hernández y Morales, 1995). Este tipo de material tiene un buen comportamiento frente a fuertes vientos y no provocan aumentos de temperatura relevantes. Sin embargo conseguir tamaños de poro muy pequeños, necesarios para impedir el acceso de insectos, es difícil y caro de conseguir. Por ejemplo Huber (1989) comprueba que una malla formada por filamentos entre 0,2-0,3 mm de grosor y un diámetro de poro de 1,6 a 1,8 mm no es eficaz para el control de la mosca de la zanahoria, lo que si puede conseguirse con un velo no tejido de mucho menor precio.

El uso de este tipo de mallas como cubierta flotante es muy reducido y su aplicación más utilizada es la de sombrear cultivos que necesiten durante alguna etapa de su desarrollo reducción de radiación.

2.2.3. MICROCLIMA GENERADO BAJO LAS CUBIERTAS

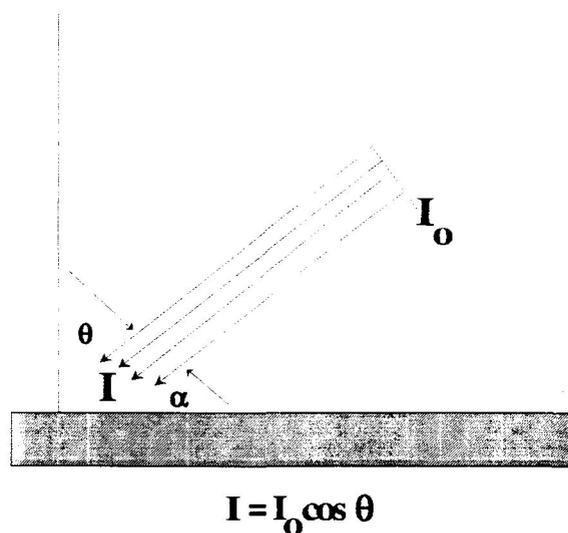
La colocación de una cubierta flotante que actúa como una barrera, más o menos permeable, que separa el cultivo del ambiente exterior va a generar una serie de modificaciones microclimáticas sobre el entorno que protege.

2.2.3.1. Radiación

La radiación que llega a un cultivo bajo cubierta flotante va a depender de la intensidad de la radiación solar, de la posición del sol (ángulo de incidencia) y de la disposición y características ópticas del material de cubierta. Son estos dos últimos factores los que más van a establecer la diferencias microclimáticas que genera esta técnica con respecto al aire libre.

En un cultivo al aire libre, según la ley del coseno de Lambert (figura nº 2), la intensidad radiante que llega a una superficie (I) varía con la intensidad de la radiación (I_0) y el coseno del ángulo formado por la dirección de los rayos solares y la perpendicular a la superficie (θ) (Jones, 1987).

Figura nº 2. Ley del coseno de Lambert

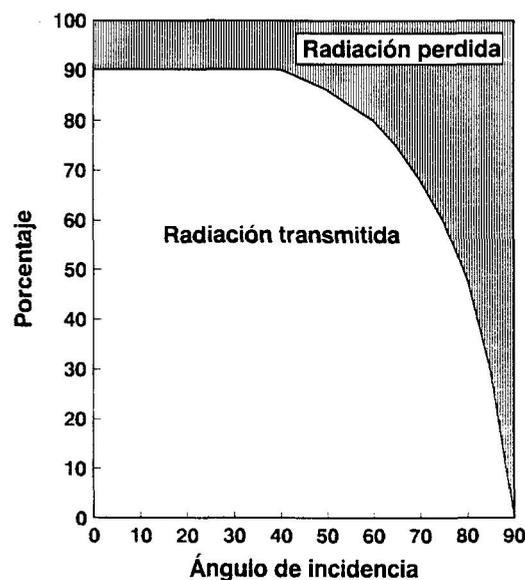


Este ángulo va a depender de la declinación solar, la latitud y la hora. Cuando la disposición de la cubierta es plana I puede calcularse fácilmente, lo que no ocurre cuando la está apoyada sobre el cultivo y por tanto su forma es irregular.

La intensidad de la radiación será mayor cuanto más cerca estemos del solsticio de verano, con la proximidad al ecuador y en las horas cercanas al mediodía.

Una vez llegada la radiación a la cubierta, las distintas fracciones del espectro serán reflejadas, absorbidas ó transmitidas al interior de la cámara en función de la naturaleza del material de cubierta. El porcentaje de radiación transmitida va a depender también del ángulo de incidencia (ángulo que forman los rayos solares con la perpendicular a la cubierta) con que lleguen los rayos solares (Mastalerz, 1977). En la figura nº 3 puede observarse como la radiación transmitida a través de una superficie acristalada (o de material similar: plástico, metacrilato, etc.) va decayendo conforme aumenta este ángulo.

Figura nº 3. Efecto del ángulo de incidencia sobre la transmisión de energía solar. Adaptada de Mastalerz (1977).



La mayoría de los materiales utilizados son bastantes transmisivos a la radiación global (suma de radiación directa y difusa). La transmisividad (porcentaje de radiación que traspasa la cubierta) en este rango, en condiciones de laboratorio (con ángulos de incidencia de cero grados), es de un 88-89 % en láminas de PE (50 μ de espesor), un

90 % en láminas de EVA (50 μ de espesor) (Gerst, 1985) y de un 81 % en el caso de velos de PP (17 gr/m^2) (Quingyun, 1991). Sin embargo, cuando la transmisividad es medida en condiciones de campo estos valores son bastante inferiores. Así, por ejemplo los valores medios son del 62 %, 68 % y 59 % en PE, EVA y PP respectivamente (Benoit y Ceustermans, 1987; Benoit y Ceustermans, 1992; Benoit y Ceustermans, 1990b).

Esta atenuación de la transmisividad en campo es debido al citado ángulo de incidencia de los rayos solares, a la acumulación de partículas de polvo, a la condensación de vapor de agua en la cara interna de la cubierta. Solamente por esta última causa una lámina plana puede perder hasta un 30 % de transmisividad en el rango de la radiación global (Pieters y Balemans, 1992).

Las pérdidas de transmisividad se deben fundamentalmente a la reflexión del material el cual puede variar en las distintas regiones del espectro. Un PE que presenta un poder de reflexión del 5 % en la región de 300 nm puede presentar una reflexión de hasta el 14 % con una radiación de 1200 nm de longitud de onda (Robledo y Martín, 1988).

La mayoría de los materiales plásticos no presentan patrones de transmisividad distintivos en el rango de la radiación fotosintéticamente activa (PAR, entre 400-700 nm) con lo que su valor no difiere mucho de los citados para la radiación total. Wells y Loy (1985) la cifran en 90 % y 80% para PE y PP (similares a los anteriormente citados para la radiación global).

Los materiales usados para cobertura flotante deben ser lo más transparentes posible a la radiación visible y PAR pero, para asegurar un buen comportamiento térmico, deben tener cierta opacidad a las radiaciones infrarrojas (IR) emitidas por el suelo y las plantas durante la noche. Gerst (1985) cifró la transmisividad para el infrarrojo (a 10 μ de longitud de onda) (en condiciones de laboratorio) en un 55-63 %

para láminas de PE (50 μ de espesor), en 18-27 % en láminas de EVA (50 μ de espesor) y 30 % para un velo de PP (15,6 gr/m²). Según estos datos, el PE es el que peores prestaciones ofrece en cuanto a aislamiento térmico por radiación. Sin embargo, existen en el mercado PE térmicos, con aditivos especiales, que reducen esta transmisividad hasta un 10%.

En campo, la transparencia al IR (infrarrojo) de estos materiales es modificada al condensarse vapor de agua, lo que ocurre durante la noche cuando la temperatura de cámara desciende del punto de rocío, provocando la aparición de una película de agua en la cara interna de la lámina (Wells y Loy, 1985). El agua absorbe fuertemente la radiación IR (Rosenberg y col., 1983), de tal modo que constituye una barrera opaca a esta radiación (sobre todo en longitudes de onda superiores a 10 μ) limitando pérdidas térmicas. Es de vital importancia que el agua de condensación forme una lámina uniforme para evitar goteos sobre la planta que favorezcan el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

En días nublados y húmedos, este agua de condensación nocturna puede no evaporarse al inicio del día, con lo que la transmisividad global del plástico se ve muy mermada (Loy y Wells, 1982).

2.2.3.2. Temperatura

Las cubiertas flotantes generan el efecto túnel o invernadero (Benoit y Ceustermans, 1987; Benoit y Ceustermans, 1985; Choukr-Allah y col., 1994, Gerst, 1985; Rumpel y Grudzien, 1990; Wells y Loy, 1985) que puede definirse como la ganancia térmica impuesta por un material de cubierta que transmite la radiación de corta longitud de onda (que aportan los rayos solares) y absorbe o limita la emisión de radiación de longitud de onda larga (radiación calorífica que emiten las plantas y suelo ubicadas bajo la cubierta). De este modo el recinto protegido se comporta como una

trampa de calor (Seemann, 1979).

El balance de energía de un sistema puede modelizarse con la siguiente ecuación (Seeman, 1979):

$$Q-B-P-L-V= 0$$

donde:

Q= Radiación neta

B= Flujo de calor del suelo

P= Flujo de calor de las plantas

L= Flujo de calor del aire

V= Energía consumida en evapotranspiración

No se incluye, por ser mínimo, el consumo energético utilizado en fotosíntesis.

Según esta ecuación, salvo la fracción de energía utilizada en evapotranspiración, el resto es convertida en energía térmica, la cual es rerradiada como radiación térmica (infrarrojo largo) o intercambiado por convección y conducción.

La temperatura del aire bajo el recinto protegido es mayor que la del aire libre salvo en el caso en que se de el fenómeno de "inversión térmica" el cual se produce cuando se utilizan materiales de cubierta transparentes a la radiación IR larga y en condiciones de gran emisión hacia la atmósfera, lo cual ocurre en noches claras con escasa turbulencia del aire. Benoit y Ceustermans (1987) indican que la ventilación que proporcionan las perforaciones de la cubierta de PE es suficiente para reducir este efecto. En el caso de utilizar velos permeables, las altas tasas de ventilación que proporcionan evitarían el fenómeno. Este efecto de inversión es muy escaso ya que además de la ventilación, la condensación, anteriormente citada, impide la salida de los IR largos.

Las temperaturas diurnas de aire son las más afectadas por la técnica, especialmente las máximas. Bajo PE han sido descritos aumentos de máximas de hasta 14 °C (Hemphill y Mansour, 1986), siendo ligeramente inferiores en PP (Wolf y col., 1989) o en poliéster (Montsenbocker y Bonano, 1989). Estas temperaturas máximas pueden en algunos casos ser lesivas (Mansour y Hemphill, 1987; Rumpel y Grudzien, 1990) en el caso de plantas sensibles o recién trasplantadas. Estas temperaturas máximas pueden ser atenuadas por el propio cultivo si éste transpira suficientemente. Choukr-Allah y col. (1994) comprobaron que las diferencias de temperaturas máximas de aire medidas bajo agrotexil respecto al cultivo al aire libre se reducían paralelamente al crecimiento de las plantas. Esto es debido a que una gran área foliar modifica el microclima ya que gran parte de la energía es empleada en evapotranspiración.

En cuanto a las temperaturas mínimas de aire la técnica solamente proporciona ligeros aumentos en torno a 1-2 °C (Gerst, 1985; Hemphill y Crabtree, 1988), los cuales en alguna ocasiones suelen ser suficientes para permitir la supervivencia del cultivo (Hemphill y Mansour, 1986).

Es la integral térmica, utilizada profusamente para analizar el desarrollo de los cultivos (Ritchie y NeSmith, 1991), la que puede proporcionar mayor información sobre el efecto de la técnica sobre las temperaturas de aire. Hemphill (1989) cuantificó las integrales térmicas de los cultivos de tomate y pepino bajo cubierta flotante de PE perforado y observó como estas se incrementaban en un 230 % y en un 190 % respectivamente con respecto a las integrales térmicas de los mismos cultivos al aire libre.

Las temperaturas de suelo, también son incrementadas bajo las cubiertas flotantes aunque las diferencias son menores que las ya citadas para las temperaturas de aire. Estos aumentos pueden cifrarse entre 2-3°C como media (Gerst, 1985) siendo los velos de PP los que menos aumentos consiguen (Hemphill, 1989; Wolf y col., 1989).

Obviamente, todas estas diferencias cuantificadas dependen de las condiciones climáticas exteriores.

2.2.3.3. Humedad

Los valores de humedad relativa del aire dependen de la cantidad de vapor de agua que el aire contiene y de su temperatura, de modo que a igual contenido de vapor de agua la humedad aumentará al bajar la temperatura y disminuirá al subir esta.

Cuando la temperatura baja hasta el punto de rocío se alcanza la saturación y se produce la condensación del agua, que constituye un fenómeno de gran importancia en la técnica de cubiertas flotantes, como ya se ha visto en apartados anteriores.

La humedad relativa bajo las cubiertas es superior a la del aire libre. Mermier y col. (1994) bajo velo de PP midieron incrementos en de 15 a 20% durante el día y entre 5 y 10% durante la noche, similares a los obtenidos por Choukr-Allah (1994) que cifra estos incrementos en una media entre 5-15% durante todo el ciclo.

Este ambiente húmedo es creado gracias a que la cubierta supone un cierto freno a la renovación de aire y a que las altas temperaturas, generadas bajo cubierta, permiten que la atmósfera interior pueda contener mayor cantidad de agua. Este efecto es mayor bajo una lámina PE (Benoit y Ceustermans, 1987) que bajo un velo de PP debido a la menor ventilación del primero.

Estas altas humedades y la reducción de la radiación impuesta por el material de cubierta provoca una reducción en la evapotranspiración del cultivo (Benoit y Ceustermans, 1985).

Como consecuencia de lo anterior, la humedad de suelo es también favorecida, habiéndose detectado incrementos de hasta un 20% respecto a un cultivo sin protección tras un período de desecación entre riegos (Mermier y col., 1994).

2.2.3.4. Otros parámetros climáticos

Existe escasa información sobre la incidencia del viento sobre las cubiertas flotantes. Mermier y col., (1994) indican que el viento bajo un velo de PP es 10 veces menor que en el exterior. Si tenemos en cuenta que la permeabilidad del PE perforado es menor, cabe pensar que bajo estas láminas la velocidad del viento será aún mas reducida.

Las cubiertas favorecen un efecto cortavientos (Benoit y Ceustermans, 1987; Odet y Jay, 1987). Jones (1983) analiza la influencia de este efecto sobre el microclima indicando que sus principales efectos son el aumento de la temperatura durante el día (debido a que la reducción de la turbulencia limita la renovación, por aire frío de capas altas, del aire calentado junto al suelo durante las horas diurnas) y la reducción de la evapotranspiración (al disminuir la renovación del aire saturado de vapor de agua junto a las hojas, procedente de la transpiración).

Gerst (1985) analizó el efecto del viento sobre la renovación del aire bajo la cubierta. En cámaras con velos de PP la tasa de renovación es tres veces superior a la medida bajo lámina de PE. Un viento de 1 m/s duplica, en ambos casos, la tasa de renovación sin viento.

No existen datos concluyentes de como afecta la técnica a la composición del aire bajo cubierta, especialmente sobre los contenidos de CO₂, que deben ser bajos cuando las condiciones son óptimas para la fotosíntesis debido a la limitación en la renovación del aire.

2.2.4. EFECTOS DE LA TÉCNICA SOBRE LOS CULTIVOS

Las cubiertas flotantes actúan como barrera física que impiden los daños por lluvias de gran intensidad o granizo (Wells y Loy, 1985; Gerst, 1993) tanto sobre el cultivo como sobre el suelo, el cual mantiene así su estructura agregada (Odet y Jay, 1987; Hemphill y Crabtree, 1988).

La reducción de la evapotranspiración provoca que el suelo tenga unos mayores niveles de humedad que, junto con el incremento térmico, favorecen los procesos de nitrificación (Benoit y Ceustermans, 1992) que redundan en el aumento de la fertilidad de los suelos.

Esta mejora de las condiciones edáficas se traduce en la optimización de las condiciones de germinación (Benoit y Ceustermans, 1985; Wells y Loy, 1985) reduciéndose el gasto de semillas hasta un 10 % (Gerst, 1985).

Son numerosos los trabajos que relatan como la alteración de los parámetros climáticos redundan sobre las producciones, calidad y precocidad de diversos cultivos hortícolas. Por ejemplo: calabacín (Faouzi y col., 1993; Reyd y col., 1993), cebolla (Mansour y Hemphill, 1987), escarola (Benoit y Ceustermans, 1987), lechuga (Fuelleo y col., 1993; Borosic y col., 1994), maíz dulce (Bonano y Sanders, 1989), melón (Loy y Wells, 1982; Hemphill, 1989), patata (Begin y col., 1989), pepino (Hemphill, 1989), tomate (Hemphill, 1989; Khan y col., 1989; Kucera, 1989), zanahoria (Benoit y col., 1986; Borosic y col., 1994), etc.

Gerst (1985; 1993) da un amplio catálogo de cultivos en los cuales la técnica ha mostrado su eficacia.

Un uso especial de los velos permeables es la de su utilización como protección fitosanitaria.

Según Gregoire (1992) el proceso de fabricación del velo de PP consolida un material con "efecto barrera" ya que los filamentos forman un entramado en el cual el 50% de los espacios libres tiene una dimensión inferior de 50 μ a través de los cuales no puede pasar ningún insecto. Además, este mismo autor indica que este material tiene un efecto repulsivo para los insectos, similar al encontrado en otros materiales como por ejemplo los plásticos aluminizados (Sorensen, 1989; Lamont y col. 1990).

La exclusión de insectos limita la incidencia de las virosis. Por ejemplo, en calabacín el virus del mosaico de la sandía (WMV) es retrasado un mes (Reyd y col., 1993) y sus tasas de infección al final del ciclo son reducidas (Faouzi y col., 1993; Gómez y col., 1989).

El control realizado sobre las plagas, en algunas ocasiones, ha demostrado que su utilización es una alternativa económica a los tratamientos fitosanitarios convencionales (Brown y col., 1989) que pueden no asegurar un control uniforme de las virosis (Hemphill y col., 1988).

En ocasiones, por problemas de sobreexplotación o monocultivo no es difícil encontrar ambientes culturales donde resulta muy problemático el cultivo de una determinada especie debido a la gran cantidad de vectores de virosis que en él se encuentra. En estos casos las cubiertas pueden mostrar una gran eficiencia posibilitando el cultivo (Reyd y col., 1993).

En contra de su utilización hay que indicar que las especies a cultivar están restringidas a aquellas de bajo porte, no siendo de interés práctico en general su uso en plantas entutoradas, a pesar de haberse empleado en algunos casos.

Además, como anteriormente se indicó, en plantas sensibles o pequeños trasplantes la elevación de las temperaturas máximas pueden ser lesivas. Gent (1989) comprobó como el contacto con la cubierta provocó abrasamientos en los ápices de

crecimiento de plantas de tomate que condujeron al desarrollo de tallos laterales que cambiaron la arquitectura de la planta, reduciendo la producción. Lo mismo relatan en pimiento Rumpel y Grudzien (1990) que observan crecimientos arbustivos multilaterales que retrasan el cuajado de los frutos y la cosecha y Call y Courter (1989) que cuantifican la reducción en producción precoz hasta en un 80%. Sobre patata Green y Hadley (1989) encuentran una mejora en la germinación y unas altas tasas de crecimiento iniciales que no se ven reflejadas posteriormente en la producción debido a que extensos períodos de protección aceleran la senescencia. En ocasiones no se ve alterada la producción y si la calidad que puede verse afectada por estas altas temperaturas como en el caso del melón (Donley y Hochtmoth, 1989). Para evitar estos efectos indeseables es necesario la realización de ensayos de adaptación local para cultivos de interés optimizando los ciclos de protección (fundamentalmente el momento de retirada de cubiertas).

2.2.5. MANEJO DE LAS CUBIERTAS FLOTANTES

La colocación de la cubierta puede realizarse manualmente o de forma mecanizada. En el primer caso son necesarios dos operarios que van desenrollando la bobina del material de cubierta sobre dos caballones en los que anclan el filme por enterramiento o con fijadores especiales. La colocación mecánica se realiza mediante un tractor con una extendedora combinada similar a la utilizada para acolchados de suelo. El apero permite colocar transversalmente una bobina con el material de cubierta que tras ser fijado al suelo inicialmente, se desenrolla y coloca con el avance del tractor (Gracia, 1993). La realización del caballón puede ser anterior al pase de la extendedora o bien esta puede ir provista de unos discos asurcadoras adelantados a la bobina que realizan esta tarea. Tras la bobina, unos aporcadores aseguran el anclaje de la lámina al caballón por enterramiento. Pueden también combinarse otra serie de implementos, como por ejemplo rejillas inyectoras de gas desinfectante de suelo, aplicadores de herbicida, insecticida y fertilizante, así como rodillos de distribución de tubería de riego localizado

(Gracia, 1993), ó plantadora de cepellones.

La colocación manual requiere del orden de 16 horas de trabajo por hectárea mientras que la mecanizada utiliza entre 5 y 10 horas (Gerst, 1985).

En climas ó períodos de cultivo fríos puede utilizarse una doble cubierta. Lo normal es que se utilice una lámina de PE asociada a un velo de PP ya que cuando se utilizan dos cubiertas de PE puede producirse adherencia entre ellas por atracción electrostática (Benoit y Ceustermans, 1992) desapareciendo la cámara de aire que debe existir para proporcionar un mejor aislamiento térmico. A pesar del incremento de coste y la gran disminución que se da en la transmisividad que se cifra en casi un 50% en condiciones de campo (Benoit y Ceustermans, 1987) se considera rentable en algunos cultivos en climas fríos del norte de Europa.

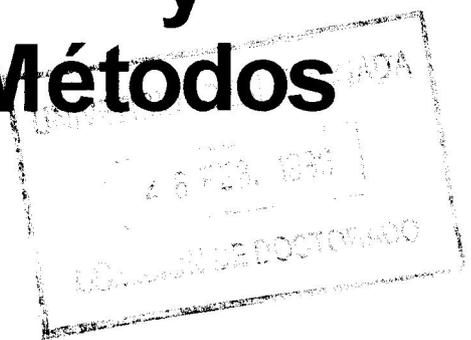
Pueden utilizarse combinaciones de distintas técnicas de semiforzado, como por ejemplo acolchado de suelo-cubierta flotante (frecuente en USA para el cultivo de melón), túnel-cubierta flotante e incluso acolchado-cubierta-túnel. También puede utilizarse esta técnica (y las asociaciones anteriores) dentro de invernadero.

Las cubiertas flotantes pueden utilizarse durante todo el ciclo cultural en plantas de bajo porte, en especies autopolinizantes (Natwick y Laemmlen, 1989) o cuando se utilizan como protección fitosanitaria, aunque lo normal es su utilización solamente durante parte del ciclo. En este caso, determinar el tiempo óptimo de protección y retirada de cubiertas es un paso crítico para maximizar los efectos beneficiosos de la técnica. Es deseable el mantenimiento de la cubierta hasta que se den condiciones de altas temperaturas (Jenni y Stewart, 1989) que puedan dañar a la planta.

La retirada del material de cubierta puede también ser mecanizada. La vida media de estos materiales es de 2-3 campañas en el caso de láminas PE y de 2 con velo de PP.

Hay que tener un especial cuidado en el control fitosanitario ya que el microclima creado, al igual que en los cultivos protegidos, no tan solo es beneficioso para los cultivos sino que también favorece la incidencia de plagas y malas hierbas (Wells, 1994) siendo en algunos casos indispensable el manejo de herbicidas y aconsejable los tratamientos sanitarios. La cubierta altera el ambiente en que actúan los herbicidas, pudiendo reducir su eficacia (Hemphill y Crabtree, 1988) afectando su movimiento, permanencia, volatibilidad y actividad (Greenfield, 1989). La alta humedad relativa del aire, además, puede favorecer el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

3.- Material y Métodos



3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS

3.1.1. INTRODUCCIÓN

Las experiencias se realizaron en el Centro de Investigación y Desarrollo Agrario (CIDA), que se encuentra localizado al sur-oeste de la ciudad de Granada (37° 10' 21" N; 3° 38' 10" O; 600 m. de altitud) enmarcado en la Vega de Granada.

La comarca de la Vega de Granada, localizada en el interior de la Depresión de Granada, presenta en su relieve todos los rasgos de una pequeña cubeta sedimentaria rodeada por una línea continua de sierras y recorrida por una red hidrográfica que se organiza en torno al río Genil (Ocaña, 1974).

El clima de la comarca de la Vega ha sido definido como Mediterráneo continental templado (MAPA, 1986).

En la figura nº 4 puede observarse el gráfico de un punto representativo de la comarca. La serie térmica utilizada es de 19 años y la pluviométrica de 33 (MAPA, 1989).

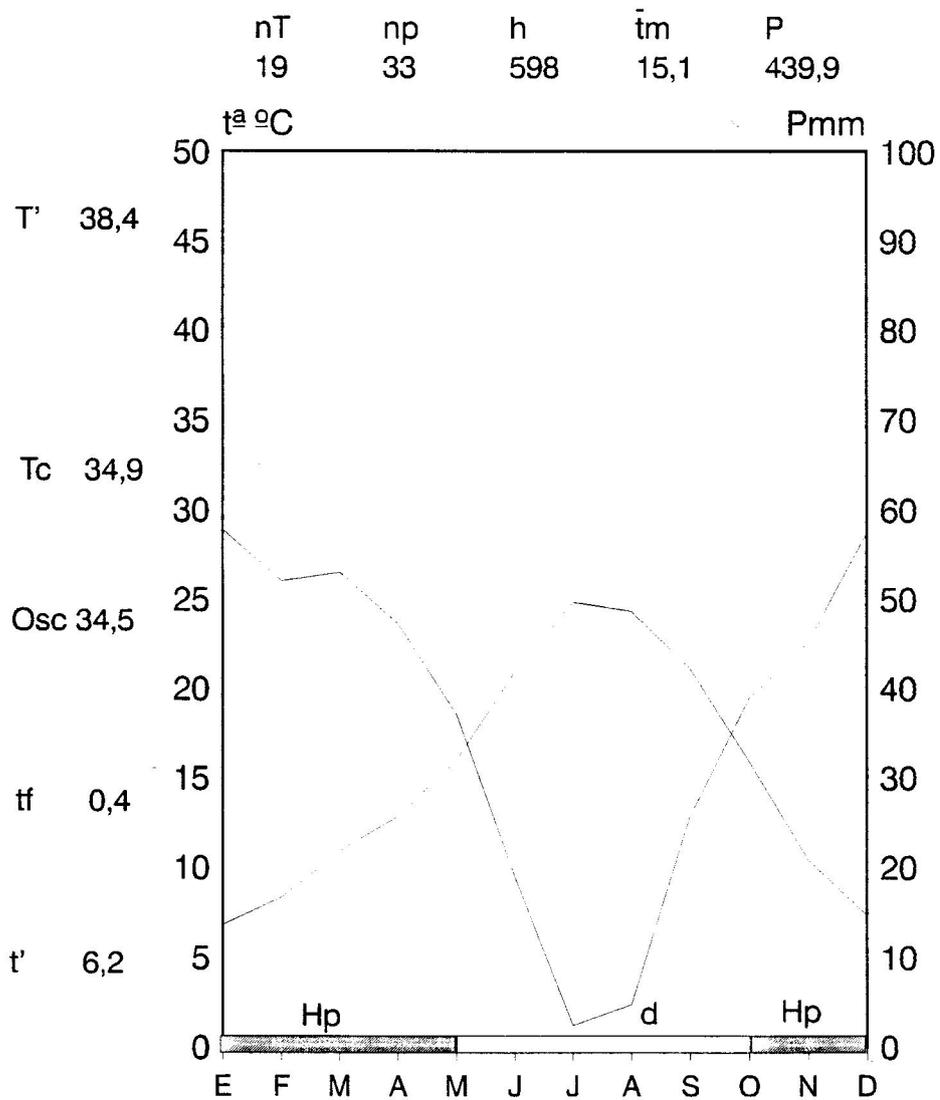
El régimen térmico alterna inviernos frescos y prolongados con veranos calurosos. El periodo libre de riesgos de heladas es tan solo 5 meses.

La pluviometría media anual es inferior a 500 mm y se caracteriza por tener una estación moderadamente húmeda (de octubre a marzo) y un periodo de sequía estival. Las lluvias tienen un fuerte carácter torrencial.

La humedad relativa del aire es baja durante casi todo el año. Predominan los vientos flojos y las calmas. La nubosidad es escasa, totalizando 2800 horas de sol al año (Ortega, 1981).

Según la clasificación de Papadakis (1960) la caracterización agroclimática de la Vega de Granada queda definida por un invierno avena cálido, un verano arroz y un régimen de humedad Mediterráneo seco.

Figura nº 4 . Diagrama de Walter y Lieth



T': Tª media anual de máximas absolutas anuales **Tc**: Tª media de las máx. del mes mas cálido
Osc: Oscilación Tc-tf **tf**: Tª media de las mínimas del mes más frio
t': Tª media anual de mínimas absolutas anuales **nT**: Número de años de la serie de temp.
np: Número de años de la serie pluviométrica **h**: Altitud en metros
tm: Tª media anual de las medias en °C **P**: Pluviometría media anual en milímetros
Hp: Período en que la helada es probable **d**: Período libre de heladas

El suelo es de naturaleza aluvial, clasificado como fluvisol calcarico (FAO) o Xerofluvent típico (USDA).

Se trata de un suelo profundo, de perfil homogéneo en todas sus características, de escasa pendiente (0,3%), con buena capacidad de drenaje y escaso riesgo de erosión.

En la tabla nº 2 se muestran las características fisicoquímicas de un perfil tipo de la finca (Jimenez, 1994).

El cultivar de col china utilizado fue "Nagaoka 50" de SLuis&Groot. Se trata de un híbrido de ciclo precoz, cogollo cilíndrico, poca altura (35-40 cm), de hojas color verde amarillento y un aceptable comportamiento ante la subida a flor en las condiciones ecológicas empleadas.

La siembra se realizó en bandejas alveolares de poliestireno sobre turba, mezclada con un 20% de vermiculita. Se llevó a cabo en el mes de febrero, bajo invernadero no climatizado de cubierta plástica, en Almería.

Los trasplantes se practicaron cuando las plantas tenían un mínimo de 4 hojas verdaderas y un peso fresco superior a 2 gramos. El marco de plantación fue de 11,11 plantas/m², con líneas de cultivo cada 30 cm y una separación entre plantas de la misma línea, también, de 30 cm.

Tras el trasplante se aplicaba un riego ligero y se colocaban las cubiertas, las cuales eran retiradas definitivamente cuando suponían un freno físico al crecimiento de las plantas.

El riego se aplicó por inundación.

Tabla n° 2. Características fisicoquímicas del suelo. (Jimenez, 1994)

Hor.	Prof. cm	Gravas %	Arena %	Limo %	Arcilla %
Ap	0-12	9,97	42,79	40,47	17,14
C ₁	12-40	9,18	42,84	39,68	17,48
C ₂	40-71	4,06	51,13	36,36	12,51
C ₃	71-113	5,17	58,54	30,82	10,64
C ₄	113-150	5,52	48,77	38,29	12,94

Hor.	ARENAS (%)				Muy	CO ₃ Ca %	Cond. mS	P.asimilable mg/100gr
	Muy	Gruesa	Mediana	Fina				
Ap	2,09	2,97	3,50	16,42	17,81	17,67	1,35	7,83
C ₁	3,60	2,97	3,25	15,96	17,06	15,73	1,10	8,18
C ₂	1,98	2,16	3,72	22,11	21,16	17,69	0,84	3,73
C ₃	2,79	2,49	3,63	24,89	24,74	16,46	1,90	3,38
C ₄	3,16	3,61	3,69	19,01	19,30	19,63	3,00	3,91

Hor.	C.O. %	N %	C/N	pH H ₂ O	pH ClK	Humedad (%)	
						1/3 atm.	15 atm.
Ap	1,08	0,124	8,71	7,4	7,0	16,88	6,26
C ₁	0,89	0,103	8,64	7,6	7,0	17,63	6,03
C ₂	0,26	0,046	5,65	7,7	7,1	12,97	4,71
C ₃	0,27	0,050	5,40	7,7	7,1	10,86	3,80
C ₄	0,25	0,031	8,06	7,5	7,1	14,06	4,50

Hor.	Bases y capacidad de cambio (meq/100 gr)					Sat. %
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	
Ap	Sat.	1,73	0,13	0,29	7,18	100
C ₁	Sat.	1,44	0,11	0,20	8,70	100
C ₂	Sat.	0,86	0,11	0,07	4,13	100
C ₃	Sat.	0,99	0,16	0,05	3,70	100
C ₄	Sat.	1,17	0,24	0,07	4,78	100

En 1990 el abonado totalizó 151/112/112 kg/ha de N/P₂O₅/K₂O respectivamente en las siguientes aportaciones:

Abonado de fondo: 625 kg/ha de abono complejo 18-18-18
Abonado de cobertera: 150 kg/ha de nitrosulfato amónico

En los otros tres años la fertilización aportó 203/112/274 kg/ha de N/P₂O₅/K₂O respectivamente divididos en:

Abonado de fondo: 750 kg/ha de abono complejo 15-15-15
Abonado de cobertera: 170 kg/ha de nitrosulfato amónico
360 kg/ha de nitrato potásico

En todos los casos se aplicó de fondo 1 kg/ha de boro y los abonados de cobertera fueron divididos en dos aplicaciones iguales.

En semillero se utilizó Zineb (etilen bis ditiocarbamato de cinc) ó Propineb (propilen bis ditiocarbamato de cinc) como fungicidas preventivos de amplio espectro.

En el año 1990 se ensayó la utilización de propacloro (2 cloro N fenil N isopropilacetamida) como herbicida para el control de gramíneas y algunas dicotiledóneas anuales.

Como insecticida de suelo, previo al trasplante, fue utilizado lindano (gamma 1,2,3,4,5,6, hexacloro-ciclohexano) que actúa por ingestión y contacto.

Los insecticidas foliares utilizados fueron permetrin (cis, trans 3-(2-2)-dicloroetenil 2,2 dimetil ciclopropano carboxilato de 3 fenoxibencilo), dimetoato (ditioposfato de O,O-dimetilo de S-Nmetil carbomilo metilo) ó malatión (ditioposfato de O,O-dimetilo de S-1,2-dietoxicarbonil etilo).

Para prevenir la incidencia del tipburn se aplicó, vía foliar, una disolución de cloruro cálcico al 3% cada semana, desde retirada de cubiertas hasta cosecha.

Información detallada de todos estos productos puede encontrarse en Liñan (1994).

3.1.2. ENSAYOS PRINCIPALES

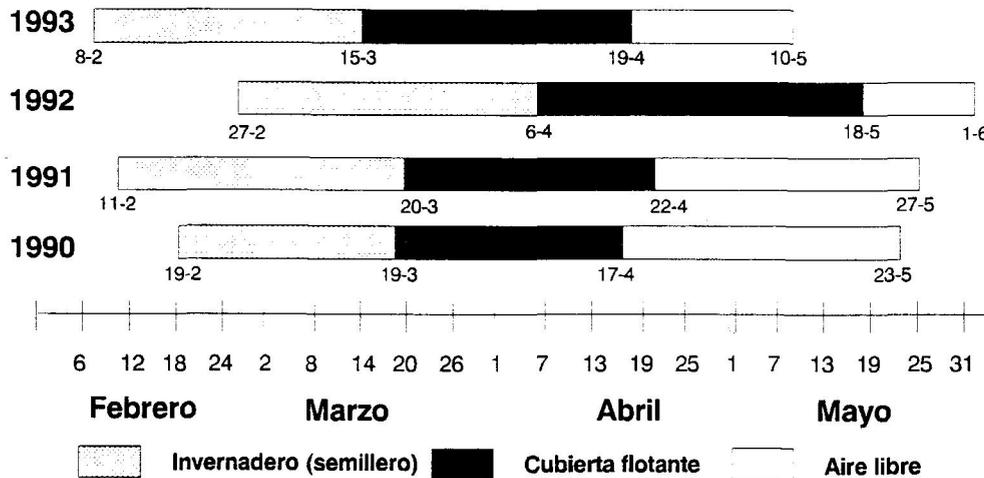
Durante 4 años (1990, 1991, 1992, 1993) se ha realizado la caracterización microclimática y la evaluación agronómica del cultivo de col china, utilizando la técnica de cubiertas flotantes con distintos materiales plásticos. El diseño estadístico utilizado fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones, siendo los tratamientos:

- 1- Cubierta de lámina de polietileno de 50 μ de espesor y 500 perforaciones de 1 cm. de diametro
- 2- Cubierta de velo de polipropileno de 17 gr/m² (Agryl P17 de SODOCA)
- 3- Cubierta de lámina de copolímero EVA (6%) de 50 μ de espesor y 500 perforaciones de 1 cm. de diametro
- 4- Cultivo al aire libre (testigo)

El estudio de la cubierta de EVA, se realizó, unicamente durante los dos primeros años (1990 y 1991), mientras que los otros tratamientos fueron repetidos los 4 años.

En la figura nº 5 se esquematiza el tiempo en que la planta está en cada fase del cultivo. Las fechas que inician cada periodo son la fecha de siembra, plantación, retirada de cubiertas y cosecha respectivamente.

Figura nº 5 . Duración de cada fase del cultivo



3.1.3. ENSAYOS ANEJOS.

Además de los ensayos principales, se realizaron, con idéntica metodología, una serie de ensayos anejos para documentar algunos aspectos sobre el manejo de la técnica de cubiertas flotantes.

3.1.3.1. Estudio de fechas de siembra

Se realizó en el año 1990 y se pretendía elegir la fecha de siembra más idónea para la producción primaveral de col china, bajo cubierta flotante, en las condiciones de la Vega de Granada. El diseño estadístico fue un diseño factorial con repeticiones.

Factor I: Fechas de siembra.

Factor II: Cubiertas de PE, agrotexil, EVA y aire libre.

Las fechas de siembra ensayadas fueron el 19 de febrero y el 10 de marzo con plantaciones el 19 de marzo y el 3 de abril, respectivamente. La primera fecha es

coincidente al ensayo principal de ese año. El factor II es también idéntico al ensayo principal.

3.1.3.2.- Estudio de utilización de herbicida

Se realizó en 1990 y se pretendía ver la eficacia del uso del propacloro (2 cloro N fenil N isopropilacetamida), bajo cubierta flotante de agrotexil, con una dosis de 1,95 Kg/Ha sobre el control de las malas hierbas habituales en la finca. La metodología y calendarios son coincidentes con los del ensayo principal de ese año. El diseño estadístico fue de bloques al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos fueron:

Cubierta de agrotexil sin aplicación de herbicida

Cubierta de agrotexil con aplicación de herbicida

3.1.3.3.- Estudio de utilización de abonado orgánico

Se realizó en 1991 y pretendía fundamentalmente analizar la influencia del estercolado sobre los niveles de CO₂ bajo cubierta de PE perforado y sobre la producción de col china. Metodología y calendarios son coincidentes con los del ensayo principal de ese año. El diseño estadístico fue de bloques al azar con 4 repeticiones siendo los tratamientos:

Cubierta de polietileno sin aplicación de estiercol

Cubierta de polietileno con aplicación de estiercol (5 kg/m²)

3.2. ESTUDIO MICROCLIMÁTICO

3.2.1. ESTACIONES AGROMETEOROLÓGICAS

Mediante una estación agrometeorológica situada a 15 metros de la parcela de

ensayos se monitorizaron los siguientes parámetros climáticos:

- Temperatura de suelo a 10 cm de profundidad
- Temperatura de aire a 150 cm de altura sobre el suelo
- Humedad relativa ambiente a 150 cm de altura sobre el suelo
- Radiación total a 250 cm sobre el suelo
- Dirección y velocidad de viento a 250 cm de altura sobre el suelo.

En la misma parcela de ensayos se instaló una estación agrometeorológica portátil mediante la cual se midieron, bajo las distintas cubiertas flotantes y en el exterior los siguientes parámetros climáticos:

- Temperatura de suelo a 5, 10 y 15 cm de profundidad
- Temperatura de aire a 5 cm sobre el suelo
- Temperatura exterior a 50 cm de altura sobre el suelo
- Radiación total a 5 cm sobre el suelo
- Radiación fotosintéticamente activa a 5 cm sobre el suelo
- Humedad relativa a 10 cm sobre el suelo.

Las estaciones meteorológicas estaban compuestas por un microordenador ó datalogger (equipo de adquisición de datos) CR 21X de Campbell Scientific , los cuales fueron programados para realizar medidas cada 15 minutos y promediar cada hora para todos los sensores, salvo en el caso de la radiación en que las medidas fueron cada minuto.

3.2.2. TEMPERATURA

Los sensores de temperatura utilizados fueron sondas 107 de Campbell Scientific. Son sensores tipo termistor alimentados mediante una corriente de 4 V a la cual imponen una resistencia en función de la temperatura. La respuesta es linearizada

mediante un polinomio de 5° grado. En el peor de los casos el error es de $\pm 0,4$ °C en el rango de -23 a 48°C. La medida es expresada en grados centígrados (°C).

El calculo de la integral térmica se basa en France y Thornley (1984).

3.2.3. RADIACIÓN SOLAR

Los sensores de radiación solar global fueron LI-200 pyranometer de LI-COR inc. Se trata de un fotodiodo de silicio, calibrado frente a un piranómetro de precisión Eppley, que tiene un error absoluto máximo de $\pm 5\%$ y $\pm 3\%$ como media. La salida es dada en watio por metro cuadrado ($W.m^{-2}$)

Los sensores de radiación neta fueron transmisores de balance de radiación de la firma Thies que miden en el rango de 0,3 a 50 μ (visible-infrarojo largo)

3.2.4. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

Los sensores de humedad relativa del aire fueron de dos tipos:

- 1.- Aspirósicrometros ventilados (bulbo húmedo-bulbo seco) modelo H301 de Vector Instrument compuestos por dos sensores de temperatura idénticos, uno de los cuales está rodeado por una película de agua (bulbo húmedo). Para cada medida es activado un ventilador el cual provoca la evaporación del agua y el enfriamiento del bulbo húmedo en función de la presión de vapor ambiente.
- 2.- Sensor de humedad de estado sólido MP100 de Rotronic formado por dos electrodos (tantalio y cromo-niquel-oro) situados sobre un delgado cristal cubierto por un polímero dielectricamente activo cuya capacitancia varía

linealmente con la humedad relativa ambiente.

3.2.5. VIENTO

Para medir las características del viento se utilizó un transmisor de recorrido (anemómetro de cazoletas) modelo A100R y un transmisor de dirección (veleta) modelo W200P, ambos de Vector Instrument. El anemómetro emite pulsos electricos en función de la velocidad del viento mientras que la dirección se mide de modo continuo.

3.3. NIVELES DE CO₂

La concentración de CO₂ del aire exterior y bajo las distintas cubiertas se midieron con un analizador portátil de gases por infrarrojo (IRGA-infrared gas analyser) modelo LCA-2 de ADC (Analytical Development Co, LTtd) que mide en el rango entre 0-1000 partes por millón (ppm) con una resolución de 1ppm.

El analizador utilizado usa un sistema de haz óptico infrarrojo de bajo voltaje. El gas muestra, tomado mediante una bomba, es conducido a una cámara de 0,75 ml de capacidad donde es irradiado con una radiación de 4300 nm. En el extremo opuesto a la fuente de irradiación se encuentra un detector que analiza la radiación absorbida por el gas muestra. Alternativamente es introducido en la cámara el gas muestra libre de CO₂ (tras pasar por una columna de "soda lime") que tambien es irradiado y analizado. La diferencia entre ambas lecturas (gas muestra y gas muestra libre de CO₂) da la concentración de CO₂ del gas muestra.

Las medidas se realizaban cada hora desde las 7 a las 18 horas solares.

3.4. ESTUDIO DEL CRECIMIENTO

3.4.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Para realizar el análisis del crecimiento se realizaron muestreos periódicos, cuyas fechas pueden observarse en la tabla n° 3.

Tabla n° 3. Calendario de muestreos

	1990	1991	1992	1993
Muestreo 1	19-3	20-3	6-4	15-3
Muestreo 2	17-4	23-4	22-4	1-4
Muestreo 3	21-5	27-5	28-4	13-4
Muestreo 4			19-5	19-4
Muestreo 5			25-5	26-4
Muestreo 6			1-6	10-5

La parcela elemental constaba de 4 líneas de cultivo, de las cuales solamente fueron utilizadas para las determinaciones experimentales las dos centrales, siendo las dos exteriores consideradas como bordes.

En cada muestreo, de las dos líneas centrales de cada parcela experimental, se tomaron 4 plantas, dejando como borde una planta en cada línea.

Las plantas, arrancadas de raíz, eran introducidas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y almacenadas en una cámara frigorífica (4 °C). Este proceso nunca sobrepasó los 30 minutos.

Para cosecha fueron recolectadas 14 plantas por parcela experimental. De ellas, 4 constituyeron una submuestra que se procesó como en el resto de muestreos, mientras que el resto fueron transportadas, en cajas etiquetadas, hasta un almacén donde fueron pesadas en bruto. Tras esto, se eliminaron las hojas externas hasta dejar un cogollo comercial que fue medido (en altura y diámetro) y pesado. Se consideró destriables a los cogollos mal formados, a los de peso inferior a 500 gramos y a los que presentaban cualquier anomalía que los hicieran comercialmente inviables. Se cuantificaron las plantas afectadas de subida y tipburn.

3.4.2. PROCEDIMIENTO EN LABORATORIO

Las plantas eran extraídas de la cámara frigorífica y una vez eliminados los restos de raíces se determinaban los siguientes parámetros:

- Peso fresco y seco total
- Peso fresco y seco de limbos
- Peso fresco y seco de peciolos
- N° de hojas
- Longitud
- Superficie foliar mediante un analizador de imagen de Delta-T.

Los pesos secos se tomaban de submuestras que eran secadas en estufa aire forzado a 70 °C hasta peso constante.

Para el análisis de nutrientes se tomaron submuestras que fueron lavadas con un detergente alcalino en disolución al 5% con agua destilada. Posteriormente, para eliminar los restos de detergente se procedió a realizar 3 lavados con abundante agua destilada. El material fue secado en estufa (70 °C), molido en un molinillo con aspas de plástico para evitar posibles contaminaciones y recogido en bolsas de plástico.

Se analizaron los contenidos en N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, y Zn siguiendo la metodología propuesta por los Métodos oficiales de análisis del MAPA (1995). El boro fue determinado por colorimetría con azometina (Wolf, 1982).

3.4.3. CALCULO DE LOS ÍNDICES DE CRECIMIENTO

Debido a que la col china es recolectada mucho antes de que la planta pueda cubrir su ciclo biológico la mayoría de los índices clásicos del crecimiento no pueden aplicarse.

En este estudio se han contemplado:

a) Índice de area foliar (LAI) (Watson, 1947)

Representa el tamaño del aparato fotosintético en relación al area del terreno.

$$\text{LAI} = \text{área foliar} / \text{área de terreno}$$

b) Razón de area foliar (LAR) (Briggs y col., 1920)

Describe la relación existente entre area foliar y peso seco

$$\text{LAR} = \text{área foliar} / \text{peso seco}$$

c) Biomasa (CDW) (Warren-Wilson, 1981)

Refleja la producción de materia seca del cultivo por unidad de superficie

$$\text{CDW} = \text{peso seco planta} \times \text{densidad de plantación}$$

3.5. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES DE CUBIERTA

Para caracterizar las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de cubierta se realizaron análisis espectroscópicos. El comportamiento óptico en la región de la radiación visible fue registrado mediante un espectrofotómetro de doble haz Perkin-Elmer modelo 330, mientras que la espectrofotometría infrarroja se registró en un espectrofotómetro de doble haz Perkin-Elmer, modelo 857.

3.6. ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA DE RIEGO

Para los análisis de suelo, cada muestra era el resultado de la suma de 12 submuestras tomada al azar en cada parcela. Para cada muestreo se realizaron 4 repeticiones. Las muestras de suelo fueron tan solo de los primeros 20 cm. tras valorar la presencia en profundidad de las raíces de la col china. La metodología analítica seguida es la siguiente:

pH	Chapman y Pratt, 1961
Carbonatos	Allison y Moodie, 1965
Fosforo asimilable	Watanabe y Olsen, 1965
Potasio asimilable	Pratt, 1965
Conductividad eléctrica	Bower y Wilcox, 1965.
Nitrógeno	Rubia y col., 1950
Capacidad Intercambio Catiónico	Bower y col., 1952.
Cationes de cambio (Na, K, Ca, Mg)	Bower y col., 1952
Carbono orgánico oxidable	Jackson, 1964; Walkey, 1935
Texturas	Day, 1965 .
Porcentaje de saturación (pF)	U.S. Salinity Lab. Staff., 1954

El agua de riego procedía de una captación subterránea situada en la finca. Las muestras para análisis, tomadas tras 35 minutos de funcionamiento de la bomba, eran envasadas en botellas de plástico de un litro de capacidad.

La metodología analítica es la descrita por el Método Oficial de Análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1995).

Se calcularon los índices que a continuación se citan según describe Canovas (1990).

Índice R.A.S. Relación de adsorción de sodio:

Índice R.A.S. ajustado:

Dureza en °Hidrotimétricos franceses:

Índice alcalinométrico de Scott (K):

Clasificación USDA

