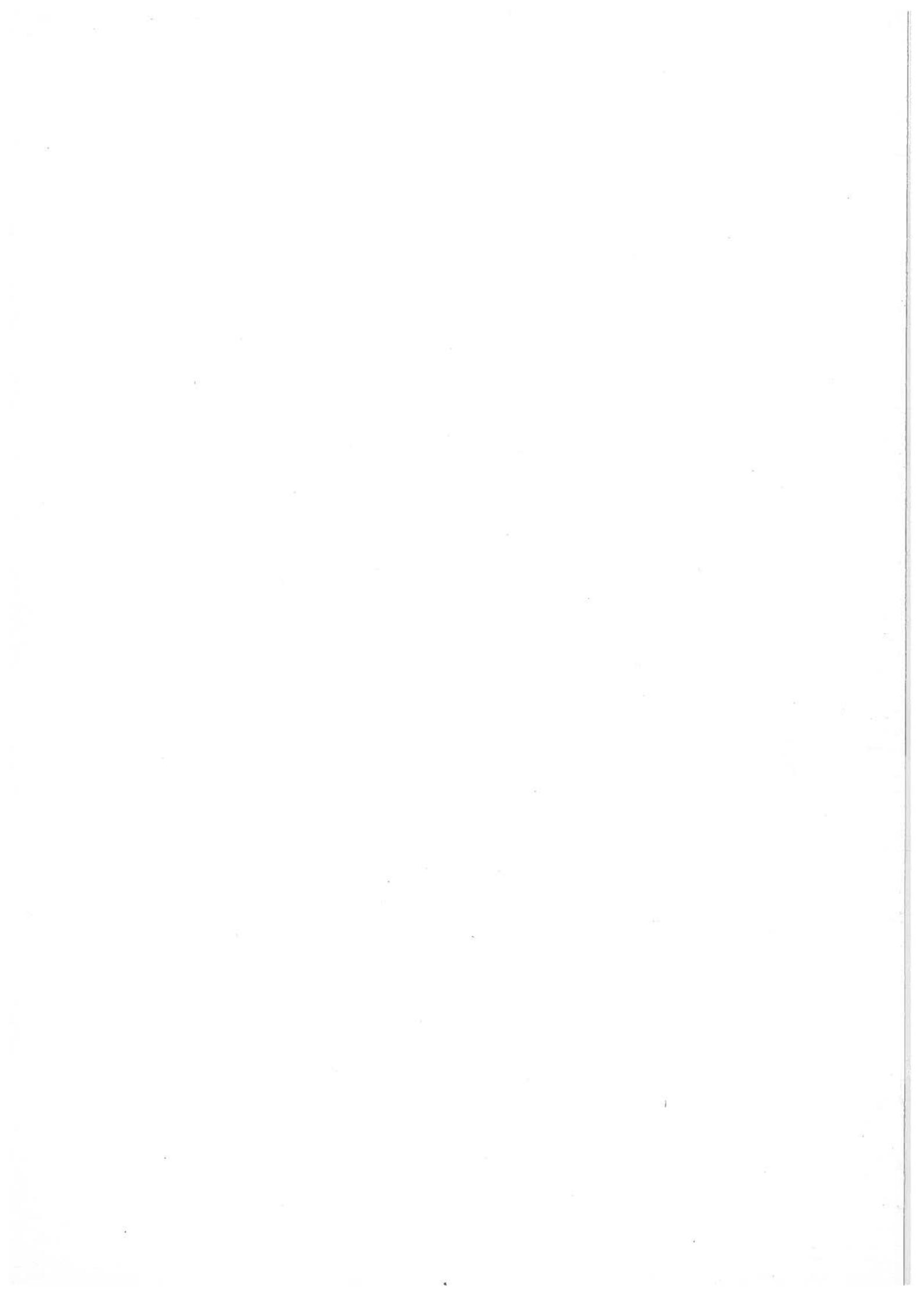


Suelo y Medio Ambiente en Invernaderos



Consejería de Agricultura y Pesca





Suelo y Medio Ambiente en Invernaderos

Autores:

María Milagros Fernández Fernández

María Isabel Aguilar Pérez

José Ramón Carrique Pérez

Jorge Tortosa Domingo

Carmen García García

Manuel López Rodríguez

Jesús María Pérez Morales

SUELO Y MEDIO AMBIENTE EN INVERNADEROS.

© JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca

Publica: Viceconsejería
Servicio de Publicaciones y Divulgación

Autores: María Milagros Fernández Fernández
María Isabel Aguilar Pérez
José Ramón Carrique Pérez
Jorge Tortosa Domingo
Carmen García García
Manuel López Rodríguez
Jesús María Pérez Morales

Depósito Legal: SE-1254-2001. 3ª Edición

I.S.B.N.: 84-89802-25-4

Maquetación e Impresión: A. G. Novograf, S. A. (Sevilla)

PRESENTACIÓN

Ante la evolución constante del sector agrario y la demanda de los agricultores/ganaderos para incorporarse a los sectores productivos, se establecen los mecanismos legales que permiten realizar, desde la Consejería de Agricultura y Pesca, una oferta formativa que contribuya a la viabilidad del proceso de modernización de las explotaciones agrarias.

El programa que hace posible esta formación, se denomina "INCORPORACIÓN Y/O MODERNIZACIÓN DE LA EMPRESA AGRARIA". Este programa se dirige a diecinueve sectores productivos y está estructurado en forma modular para facilitar la asistencia de los agricultores/ganaderos.

La formación está ajustada a cada sector, existiendo unos módulos comunes, de formación empresarial, que tratan los temas generales, y que son necesarios para el conocimiento y gestión de cualquier explotación, y otros específicos de cada sector que tratan sobre aspectos productivos.

Dada la importancia de estos temas y el número tan elevado de alumnos a los que se dirigen, la Dirección General de Investigación y Formación Agraria ha considerado necesario publicar un compendio de los aspectos teóricos y prácticos que se imparten en las clases, con el fin de dar a los alumnos un manual de consulta y de trabajo en aulas, y un marco común de referencia para el profesorado.

Se ha intentado usar un lenguaje sencillo y cercano al alumno, en un formato de composición ameno.

Este módulo que nos ocupa, "SUELO Y MEDIO AMBIENTE EN INVERNADEROS", trata de aportar los conocimientos necesarios para una producción rentable y respetuosa con el medio ambiente en relación a las necesidades de nutrición y de condiciones ambientales de las plantas, del correcto tratamiento de los suelos naturales y artificiales y de las estructuras eficientes de invernaderos que constituyen la inversión más cuantiosa en las explotaciones hortícolas intensivas.

Su contenido es el fruto del trabajo de los profesores que lo han impartido en años anteriores, y de las actualizaciones, cambios e innovaciones, así como del esfuerzo de reunir la información de los profesores implicados actualmente en su desarrollo e impartición.

El equipo de profesores que ha redactado este módulo es:

María Milagros Fernández Fernández (Coordinadora)
María Isabel Aguilar Pérez
José Ramón Carrique Pérez
Jorge Tortosa Domingo
Carmen García García
Manuel López Rodríguez
Jesús María Pérez Morales

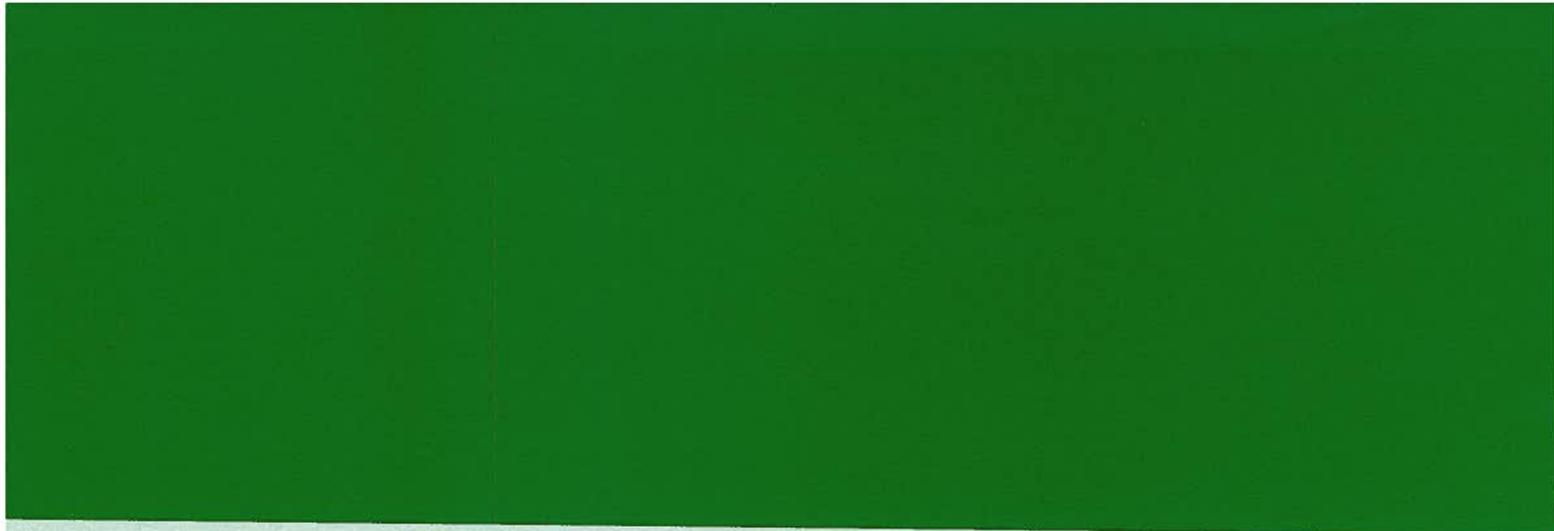
Francisco Nieto Rivera
Director General de Investigación y Formación Agraria

SUELO Y MEDIO AMBIENTE EN INVERNADEROS

I. LA PLANTA	7
1. Introducción	9
2. Exigencias básicas para el desarrollo y producción vegetal	10
3. Composición de la planta	13
4. Principales procesos fisiológicos y metabólicos que realizan las plantas	16
4.1. Fotosíntesis.....	16
4.2. Respiración	16
4.3. Transpiración	17
4.4. Absorción de nutrientes	18
5. Principios básicos de nutrición vegetal.....	20
5.1. Generalidades sobre nutrición vegetal.....	20
5.2. Comportamiento de los elementos nutritivos	22
5.3. Análisis foliar	25
5.4. Consideraciones básicas sobre los fertilizantes	28
II. EL SUELO	31
1. Propiedades físicas.....	33
1.1. Componentes del suelo.....	33
1.2. Fase sólida	33
1.3. Fase líquida.....	42
1.4. Fase gaseosa.....	45
2. Propiedades químicas	46
2.1. Capacidad de intercambio catiónico.....	46
2.2. Acidez o alcalinidad del suelo: pH.....	51
2.3. Conductividad eléctrica	54
2.4. El sodio en el suelo	56

3. Propiedades biológicas	58
4. Análisis de suelos	59
4.1. Justificación de los análisis de suelos	59
4.2. Toma de muestras en campo	59
4.3. Tipos de análisis de suelos: Objetivos e interpretación	61
5. Técnicas de manejo de suelos	68
5.1. Laboreo	68
5.2. Enarenado.....	76
6. Alternativas: cultivos sin suelo.....	80
6.1. Introducción	80
6.2. El por qué del cultivo sin suelo	80
6.3. Ventajas e inconvenientes	81
6.4. Sistemas de cultivo sin suelo	84
6.5. Sustratos.....	85
6.6. Soluciones nutritivas.....	91
III. MEDIO AMBIENTE EN INVERNADEROS.....	95
1. Parámetros climáticos	97
1.1. Radiación.....	97
1.2. Temperatura.....	107
1.3. Humedad relativa.....	115
1.4. Dióxido de carbono	117
2. Estructuras de invernaderos.....	119
2.1. Introducción	119
2.2. Consideraciones sobre el emplazamiento.....	119
2.3. Materiales de estructura	120
2.4. Dimensiones	122
2.5. Geometría de la cubierta.....	123
2.6. Contratación	125
2.7. Ejemplo de proyecto de construcción de invernadero.....	126
BIBLIOGRAFÍA	133

I. La Planta



1. Introducción

Las plantas son organismos vivos, como los animales o los hongos. Pero las plantas se diferencian del resto de seres vivos en que son los únicos que pueden aprovechar la luz del sol para producir materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas, en un proceso llamado **fotosíntesis**.

Gracias a esta función es posible la existencia de los demás seres vivos sobre la Tierra.

En el mundo existen más de 350.000 especies vegetales, de las cuales sólo se cultivan unas pocas. Es más, el 95% de nuestros alimentos se obtienen a partir de 30 especies de plantas. Ese gran margen que queda es como una gran biblioteca aún sin explorar y que posibilitará en el futuro una gran variedad de aplicaciones no solo en el campo de la alimentación, sino en farmacia, cosmética, industrias, etc.

La mayoría de las plantas cultivadas pertenecen al grupo de los vegetales superiores, caracterizados fundamentalmente por la especialización de funciones, es decir, las células se especializan para que cada trabajo pueda ser desempeñado con más facilidad por un grupo determinado de ellas (tejidos y órganos), de modo similar a como los diferentes trabajos de una fábrica se reparten entre los operarios que se han especializado para cumplir mejor una determinada función.

Recibe el nombre de tejido el conjunto de células que son muy semejantes entre sí y que desempeñan el mismo trabajo. A su vez, los tejidos se agrupan y forman los órganos, tales como raíz, tallo, hojas, flores y frutos.

Las hojas una parte fundamental en las plantas, por las funciones que realizan. Son de color verde debido a un pigmento, la clorofila, que es la encargada de captar la radiación solar. En las hojas además se encuentran los estomas, que son una especie de poros a través de los cuales se producen dos funciones esenciales en los vegetales que son la fotosíntesis y la regulación térmica mediante la transpiración.

2. Exigencias Básicas para el Desarrollo y Producción Vegetal

La base de la explotación agrícola es el desarrollo vegetal mediante el cual se logra la producción de los diferentes frutos y órganos vegetales que constituyen la cosecha. Es necesario conocer las condiciones que favorecen o limitan el desarrollo vegetal, de forma que proporcionemos a las plantas las condiciones óptimas para su crecimiento y producción.

Las exigencias básicas para el desarrollo vegetal, independientemente del sistema de cultivo, son las siguientes:

- Agua (H₂O).
- Dióxido de carbono (CO₂).
- Oxígeno (O₂).
- Temperatura (calor).
- Luz (energía).
- Nutrientes.

Cualquiera de estos factores puede ser por su influencia sobre el crecimiento, factores limitantes del mismo y lo son también de la producción vegetal expresada en términos económicos de cosecha o producción agrícola. Todos estos factores, a los que podemos añadir las técnicas de cultivo, deben estar combinados de una manera favorable, y si uno de ellos se encuentra desequilibrado, el desarrollo de la planta puede ser reducido e incluso, impedido totalmente.

El factor que se encuentra en condiciones más desfavorables, es el que va a determinar el nivel de producción de la cosecha. Este es el concepto conocido como **"El principio del factor limitante"** o **"Ley del mínimo"**, según el cual, la producción de un cultivo no puede ser mayor de lo que permite el factor esencial que se encuentre de manera más limitante. En otras palabras "el hacer una cosa muy bien no garantiza el éxito del cultivo, en cambio el hacer algo mal puede dar al traste con toda la cosecha". Este concepto es muy importante en agricultura y es aplicable a todos los procesos fisiológicos y metabólicos implicados en el crecimiento y producción vegetal. Por ejemplo, en la nutrición podemos calcular y aportar los niveles correctos de nitrógeno y fósforo, pero si aportamos cantidades insuficientes de potasio, éste nos limitará la producción.

Los factores que condicionan aspectos que pueden tener una influencia favorable o desfavorable en la producción agrícola, podemos clasificarlos según sus características en:

- Genéticos.
- Climáticos.
- Edafológicos.
- Biológicos.

▼ Factores genéticos

El material vegetal y más concretamente su dotación genética, es la base no sólo de su capacidad o potencial productivo y de la calidad del producto, sino también de otras características fundamentales: la capacidad de adaptación a diferentes condiciones climatológicas o edafológicas, el ciclo vegetativo; la mayor o menor resistencia a enfermedades, parásitos o plagas, etc. La mejora genética con la creación continua de nuevas variedades ha hecho posible el incremento de la productividad agrícola (peso de cosecha que se obtiene por cada hectárea de terreno cultivada). En el futuro, la manipulación genética abre unos horizontes incalculables, ya que de uno u otro modo

la mayor parte de los factores limitantes dependen del material genético. Por ello para la producción agrícola debe quedar patente la importancia de la variedad o material vegetal que utilizemos.

▼ Factores climáticos

Dentro de estos encontraremos:

- **Aire.** La composición de la atmósfera (CO_2 y O_2) tanto en la parte aérea como la que rodea las raíces, tiene una gran importancia. La deficiencia de alguno de estos dos gases puede dificultar el normal desarrollo de la planta.

- **Luz.** Es el factor esencial que hace posible la fotosíntesis, proceso fundamental del desarrollo vegetal. La luz también juega un papel primordial en el desarrollo vegetal a través del ritmo o periodicidad de iluminación diarios, **fotoperiodismo** que se define como la influencia que tiene la duración del día sobre el momento de florecer las plantas (día largo, día corto, indiferentes a la duración del día). Otro fenómeno asociado con la luz es el **fototropismo**, fenómeno por el cuál las plantas se dirigen hacia el lugar de donde procede la luz.

- **Temperatura.** Se trata de un factor de crecimiento de primera magnitud, y en consecuencia es uno de los factores limitantes de mayor importancia en el desarrollo práctico de los cultivos puesto que influye en todos los procesos básicos que realizan las plantas (germinación, floración,...). Cada fase del ciclo vegetativo de una especie requiere un régimen de temperaturas específicas, con diferenciación de las temperaturas nocturnas y diurnas.

- **Humedad.** El grado de humedad del ambiente condicionará en buena medida la transpiración de la planta y por tanto, el consumo de agua. La transpiración además es un proceso que está estrechamente relacionado con la fotosíntesis y ambos pueden ser limitados si la planta no dispone de abastecimiento suficiente de agua a través de las raíces.

▼ Factores Edafológicos

El suelo aparte de soporte físico de la planta, debe suministrar a los cultivos los **elementos nutritivos** necesarios para el desarrollo vegetativo. Los criterios mediante los que han sido determinados estos elementos, han sido los siguientes:

1. La falta absoluta de cualquiera de estos elementos impide el desarrollo completo de la planta.

2. Esta falta sólo puede ser corregida suministrando a la planta el elemento en cuestión y no otro.

3. Está relacionado directa e indirectamente con la nutrición de la planta: constituyentes, activadores de procesos o reacciones, etc.

Hasta el momento se ha demostrado con carácter general para las plantas superiores, la esencialidad de los elementos que se citan en el apartado siguiente, correspondiente a la composición de la planta.

Además en el suelo pueden existir otras características que sean limitantes para el desarrollo vegetal, pudiendo mencionar entre ellas: textura, estructura, acidez, alcalinidad, salinidad, etc.

Actualmente las distintas técnicas de cultivo sin suelo permiten mejorar notablemente las condiciones de desarrollo de las raíces en cuanto a disponibilidad de agua y nutrientes, aireación, control de la temperatura en el sustrato, etc.

▼ **Factores biológicos**

También debemos tener en cuenta el perjuicio que la presencia de otros seres vivos puede producir sobre el desarrollo del cultivo en cuestión. En efecto, los cultivos son susceptibles de sufrir el ataque de plagas, hongos, virus y otros parásitos así como verse afectados por la competencia de las malas hierbas.

3. Composición de la Planta

Como todos los seres vivos, las plantas están compuestas fundamentalmente por agua. Aunque la cantidad de agua de una planta depende de qué especie se trate, podemos decir que aproximadamente el 80% de su peso corresponde a agua. Si a una planta le quitamos todo el agua que tiene nos quedaría el 20% restante de su peso, que es lo que se denomina materia seca. Esta materia seca corresponde a la materia orgánica que produce la planta mediante la fotosíntesis, más los elementos minerales que ha tomado a través de las raíces.

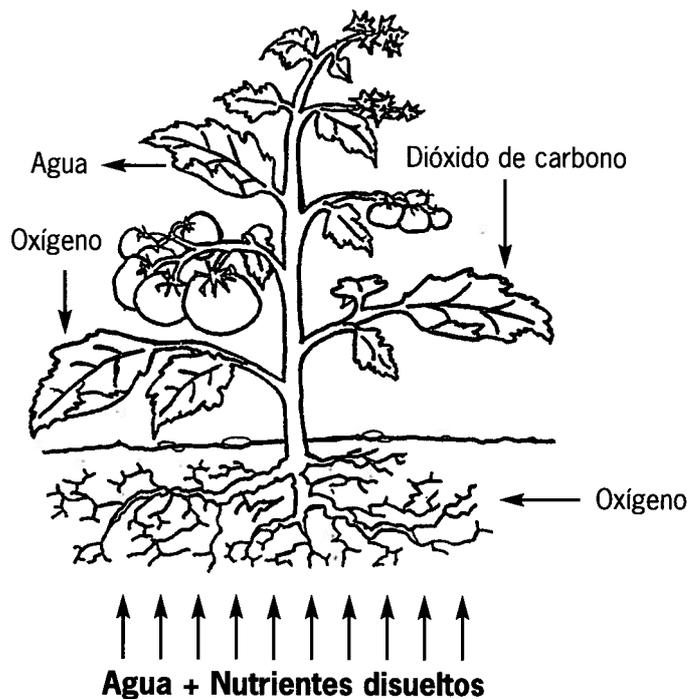
Haciendo un análisis químico de la materia seca podemos saber cuales son los elementos químicos que la componen y en qué proporción se encuentran. Estos elementos químicos que la planta tiene en su composición serán aquellos que necesita, y que toma del aire y del suelo.

Podemos clasificar los elementos que la planta necesita para su desarrollo en cuatro grupos:

▼ Elementos básicos:

- Carbono (C).
- Hidrógeno (H).
- Oxígeno (O).

Son los constituyentes mayoritarios de la planta, pues suponen aproximadamente el 92% de la materia seca. La planta obtiene estos elementos del dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) del aire, a través de las hojas y del agua (H_2O) del suelo, a través de las raíces.



▲ Fig. 1. La planta utiliza las hojas y las raíces para obtener del medio (aire y suelo) los elementos necesarios para su desarrollo.

▼ Macroelementos principales:

- Nitrógeno (N).
- Fósforo (P).
- Potasio (K).

Las plantas también necesitan grandes cantidades de estos elementos pues representan el 5% de su materia seca. Los toman, por medio de los pelos absorbentes de las raíces, del suelo. Los macroelementos principales son la base del abonado, pues debemos ir aportándolos para conseguir que siempre haya en el suelo a disposición de la planta.

▼ Macroelementos secundarios:

- Calcio (Ca).
- Magnesio (Mg).
- Azufre (S).

Constituyen el 2% de la materia seca de la planta y ésta los toma por las raíces, pues se encuentran en el suelo. Los cultivos hortícolas son muy productivos por lo que el contenido del suelo de estos elementos, aunque suele ser alto, no es suficiente, por tanto tenemos que incorporarlos con el abonado.

▼ Microelementos:

- Hierro (Fe).
- Manganeso (Mn).
- Molibdeno (Mo).
- Cobre (Cu).
- Zinc (Zn).
- Boro (B).
- Cloro (Cl).

En conjunto suman apenas un 1% del total de materia seca de la planta. Es decir, que la planta los necesita en cantidades muy pequeñas pero son imprescindibles para que pueda realizar correctamente sus funciones.

Esta clasificación se realiza no en base a que unos elementos sean más importantes que otros, puesto que todos son esenciales, sino de acuerdo a las cantidades que han de suministrarse para satisfacer las necesidades de los cultivos.

	80% AGUA	42%	CARBONO	ELEMENTOS BÁSICOS	SUMINISTRADOS POR EL AIRE Y EL AGUA		
		44%	OXÍGENO				
		6%	HIDRÓGENO				
		20% MATERIA SECA	2%	NITRÓGENO	MACRO- NUTRIENTES PRINCIPALES	SUMINISTRADOS A TRAVÉS DEL SUELO (ABONOS)	
				0,4%			FÓSFORO
				2,5%			POTASIO
			1,3%	CALCIO	MACRO- NUTRIENTES SECUNDARIOS Y MICROELEMENTOS		
				0,4%			MAGNESIO
				0,4%			AZUFRE
	1%		MICROELEM.				

Por tanto hay que destacar que la planta sólo va a producir si tiene a sus disposición en cantidad suficiente todos y cada uno de estos elementos que la componen. El grupo más importante de ellos (Carbono, Hidrógeno y Oxígeno) no se aporta en el abonado, pues se encuentra abundantemente en el aire y en el agua y no es necesario (salvo el agua) que el agricultor los reponga. Sin embargo tanto los macroelementos principales como los secundarios y los microelementos se encuentran en cantidades limitadas en el suelo, por lo que habrá que ir reponiéndolos mediante el abonado a medida que el cultivo los va consumiendo.

4. Principales Procesos Fisiológicos y Metabólicos que Realizan las Plantas

La planta necesita realizar una serie de funciones para desarrollar su ciclo de vida. El agricultor debe procurar que la planta esté en condiciones óptimas para realizar estas funciones, pues de ello depende que crezca adecuadamente y, por tanto, que produzca.

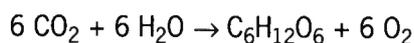
Las funciones básicas que realiza la planta son: fotosíntesis, respiración, transpiración y absorción de nutrientes.

4.1. Fotosíntesis

Es la función más importante de las plantas y las diferencia fundamentalmente de los animales, pues éstos no pueden realizarla.

La fotosíntesis es un proceso mediante el cual las plantas aprovechan la energía luminosa del sol para transformar el carbono del aire (CO₂) en materia orgánica (azúcares) desprendiendo oxígeno (O₂). Este proceso corresponde a la siguiente reacción química:

Dióxido de carbono + Agua + Energía solar = Hidratos de carbono + Oxígeno.



Tiene lugar en las células de las hojas, aunque también en otras partes verdes de la planta. En este proceso químico interviene una sustancia llamada **clorofila**, que es la responsable del color verde de las plantas.

Los azúcares obtenidos de la fotosíntesis se asocian a elementos minerales para formar otros compuestos orgánicos (proteínas, vitaminas, etc.) que, transportados por la savia elaborada, van a dar lugar al crecimiento y desarrollo de la planta y sus frutos.

Hay que destacar que cualquier planta tiene un sistema de vasos o microtubos, similar a las venas y arterias de los animales, que permiten el transporte de sustancias por su interior. Así, el agua y los nutrientes minerales que la planta absorbe por las raíces (**savia bruta**) suben hacia la parte aérea por los **vasos leñosos** y los azúcares y demás compuestos orgánicos formados principalmente en las hojas (**savia elaborada**) se mueven por los **vasos liberianos** hacia todas las demás partes de la planta, incluidas las raíces.

SAVIA BRUTA (minerales) ———> FOTOSÍNTESIS ———> SAVIA ELABORADA (materia orgánica)

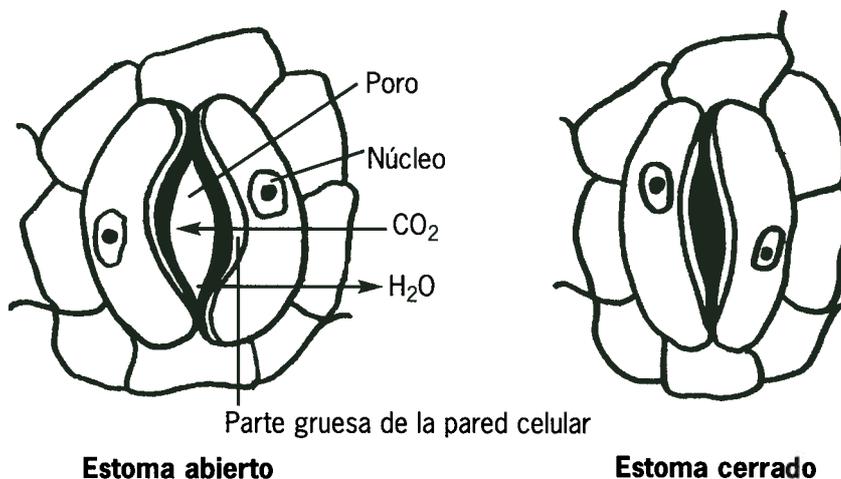
4.2. Respiración

Esta función se realiza tanto de día como de noche, pues no depende de la luz. Consiste en un proceso mediante el cual la planta “quema” los azúcares obtenidos de la fotosíntesis junto con el oxígeno del aire para obtener energía química, desprendiendo anhídrido carbónico.

Se puede considerar una función inversa a la fotosíntesis, pues consume oxígeno y desprende anhídrido carbónico, pero su principal objetivo es obtener energía química con la que realizar muchas otras funciones en la planta, como por ejemplo absorber agua y nutrientes por las raíces, crecimiento, etc.

4.3. Transpiración

Es el proceso por el cual la planta desprende agua en forma de vapor a través de los estomas de las hojas, aunque puede realizarse por toda la planta. Los **estomas** son unos orificios microscópicos que se encuentran en la superficie de las hojas, análogos a los poros de nuestra piel, y que ponen en contacto el interior de la hoja con el aire exterior. A través de los estomas sale el vapor de agua de la transpiración y también entra el dióxido de carbono necesario para la fotosíntesis.



▲ Fig. 2. Actividad estomática.

La transpiración en las hojas permite, por un lado, que la savia bruta cargada de sales minerales suba desde las raíces hasta las partes altas de la planta. Por otro lado, hay que tener en cuenta que las hojas están constantemente expuestas al sol para captar su luz y, por tanto, captan también su energía calorífica. Como resultado las hojas aumentan su temperatura. Mediante la transpiración las plantas pueden refrigerar sus hojas haciendo que disminuya el exceso de temperatura, del mismo modo que los animales sudan para bajar la temperatura de su piel cuando hace mucho calor.

Cuanto más seco sea el ambiente y más calor haga, mayor será la transpiración de la planta, hasta un límite donde empiezan a funcionar los mecanismos de defensa para las condiciones adversas, que consiste en cerrar los estomas (para evitar deshidratarse) y detención de los procesos vegetativos.

La cantidad de agua que consume las plantas en este proceso es muy importante. Se calcula que para formar 1 Kg. de materia seca se consumen de 350 a 800 litros de agua e incluso más, variando según las especies y las condiciones de cultivo. Cuando se cultiva en invernadero, se consigue mayor eficiencia en el uso del agua, gracias a un mejor manejo climatológico (reducción de la demanda evaporativa) y mayor producción, pudiendo dar por ejemplo cifras de 30-50 m^3/Tm . en cultivo de tomate en invernadero en Almería, aunque la eficiencia más importante se puede conseguir en cultivo sin suelo y con solución recirculante.

Para calcular las necesidades de agua de riego de los cultivos se utiliza el término "evapotranspiración" cuyo valor comprende tanto el gasto que realiza el cultivo a través de la transpiración como la evaporación de agua que se produce en el suelo donde está instalado el cultivo.

4.4. Absorción de Nutrientes

Hemos visto la composición normal de las plantas pero vamos a profundizar en un proceso que es esencial para un correcto desarrollo y productividad de los cultivos como es la **nutrición vegetal**.

Los elementos químicos esenciales para la mayoría de las plantas reciben específicamente el nombre de *nutrientes vegetales*. Ellos son, además del carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), los siguientes:

Elemento	Símbolo	Forma en lo que lo absorben las plantas
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ (ión nitrato) NH ₄ ⁺ (ión amonio)
Fósforo	P	PO ₄ H ₂ ⁻ (ión fosfato)
Potasio	K	K ⁺ (ión potasio)
Calcio	Ca	Ca ⁺² (ión calcio)
Magnesio	Mg	Mg ⁺² (ión magnesio)
Azufre	S	SO ₄ ²⁻ (ión sulfato)
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻ (ión molibdato)
Cloro	Cl	Cl ⁻ (ión cloruro)
Hierro	Fe	Fe ²⁺ (ión hierro)
Manganeso	Mn	Mn ²⁺ (ión manganeso)
Cobre	Cu	Cu ²⁺ (ión cobre)
Cinc	Zn	Zn ²⁺ (ión cinc)
Boro	B	BO ₃ H ₃ (ácido bórico) BO ₃ H ₂ ⁻ (ión borato)

El agua (H₂O) es a la vez un alimento, fuente de hidrógeno (H) y oxígeno (O) y un vehículo para los elementos nutrientes que no pueden ser absorbidos por las raíces a no ser que estén previamente disueltos, es decir, en forma de iones.

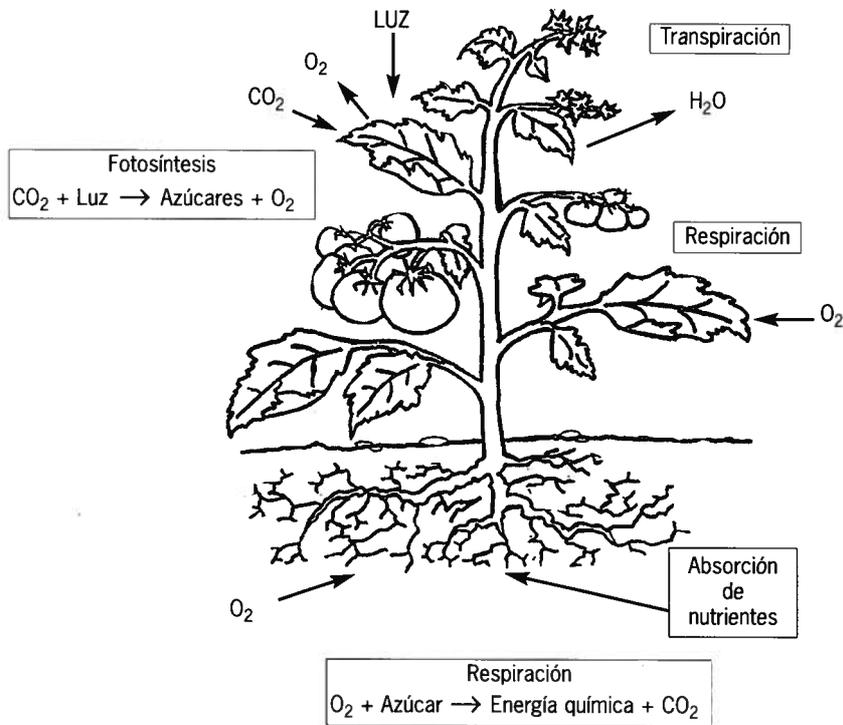
El agua es el factor más importante ligado a la nutrición de los cultivos.

La demanda de agua por la planta y su absorción a través de las raíces hace que se produzca un movimiento continuo de ella entre dichas raíces y las zonas del suelo más cercanas, movimiento que permite, al mismo tiempo, el desplazamiento de los elementos nutritivos que se encuentran en el suelo.

Los factores que afectan a la absorción de nutrientes por las raíces se resumen en el esquema siguiente:

- Contenido de elementos e interacción entre ellos.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Oxígeno (funcionamiento de la raíz).
- Temperatura (funcionamiento de la raíz).
- Luz (fotosíntesis).
- Contenido de agua (crecimiento de la raíz y vehículo transportador de nutrientes).
- pH.

El estudio de estos factores y las posibilidades de intervenir sobre ellos van a ocupar una parte importante del tiempo que dedicamos a este módulo.



▲ Fig. 3. Procesos fisiológicos realizados por la planta.

5. Principios Básicos de Nutrición Vegetal

5.1. Generalidades sobre Nutrición Vegetal

En la nutrición vegetal es de total aplicación la “ley del mínimo” que ya hemos visto en apartados anteriores: de poco sirve que la mayoría de los nutrientes estén en su rango óptimo para el cultivo si alguno de ellos se encuentra por debajo (o por encima) de su nivel crítico ya que éste será el limitante para la producción vegetal.

El desarrollo de las plantas puede ser retardado por cualquier nutriente porque el elemento:

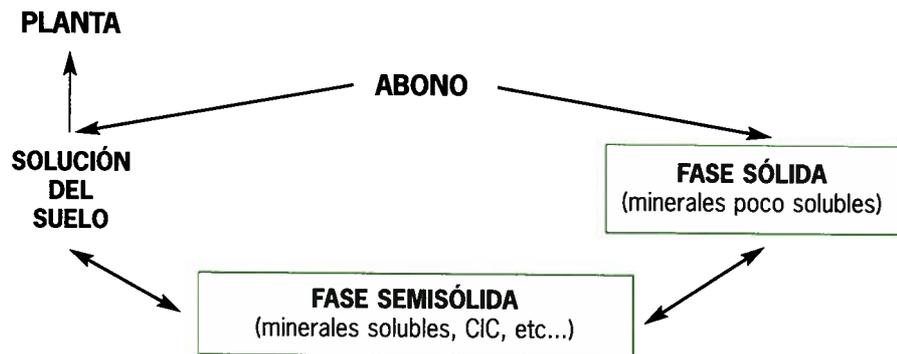
- No se encuentra en el suelo en cantidad suficiente.
- Se encuentra en una forma no disponible para la planta.
- No está adecuadamente equilibrado con los otros nutrientes.

En ciertas ocasiones dos o tres factores de los citados pueden estar actuando en combinación.

Uno de los factores que influye en la absorción es obviamente el contenido de elementos en el suelo, pero no el contenido total, sino el contenido de los que están disponibles para las plantas. Para entender qué elementos están disponibles para las plantas, hay que comprender la interacción entre la fase sólida y líquida del suelo.

Las plantas generalmente absorben los elementos de la solución del suelo. Esto significa que, de todos los elementos del suelo, la planta sólo puede disponer de aquellos que pasan fácilmente a la solución.

Si vemos la figura, observamos que dentro de la fase sólida del suelo existe una parte que presenta una interacción grande con la fase líquida (minerales muy solubles, CIC, etc.), mientras que existe otra parte que interactúa lentamente con la fase líquida (minerales poco solubles, etc.).



De cara a un cultivo hortícola intensivo, que presenta un rápido desarrollo y un ciclo menor de un año, la fase sólida casi no influye en su nutrición. Este es un factor que hay que tener en cuenta a la hora del abonado, para evitar que parte de él se incorpore a la fase sólida, donde no va a ser muy útil para la planta (como ejemplo, un exceso de abonado fosfórico puede hacer que parte de éste precipite en formas muy insolubles).

El contenido de elementos viene condicionado principalmente por la **textura del suelo** (los suelos muy arenosos aportan menos nutrientes), el **abonado** (el principal factor en los cultivos intensivos) y la **materia orgánica** (cuyo principal papel, en este punto, es el suministro de micronutrientes).

Uno de los factores que más influye en la disponibilidad de los nutrientes en el suelo es el **pH**, que estudiaremos en el tema correspondiente a propiedades químicas del suelo. Otro factor que influye en la solubilidad de los nutrientes y su absorción, es la temperatura del suelo.

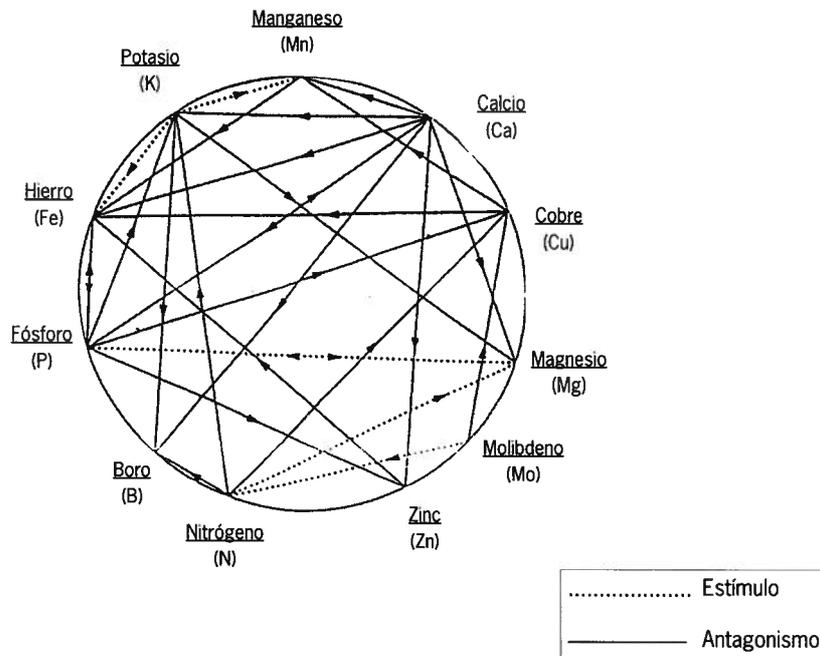
Aparte del contenido de elementos, un aspecto importante es la interacción tanto positiva como negativa entre los nutrientes. Es esencial conseguir un equilibrio entre todos los nutrientes. Cuando esto no ocurre, la presencia excesiva de uno puede limitar la absorción de otro (**antagonismo**) o puede favorecerla (**sinergismo**).

Algunos antagonismos entre nutrientes son:

- El exceso de zinc, manganeso y cobre en el suelo induce la deficiencia de hierro en la planta.
- Altos contenidos de fósforo en el suelo producen deficiencia de zinc, hierro, cobre y manganeso.
- Fuertes abonados nitrogenados intensifican la deficiencia de cobre; también la de fósforo y potasio.
- Un exceso de sodio puede afectar la absorción de magnesio y calcio.
- Un exceso de potasio puede dificultar la absorción de magnesio y también la de calcio.

En cuanto a sinergismos, el caso más claro es el del calcio y boro que favorecen la absorción de otros iones al participar en la estabilidad de las membranas y de las paredes celulares. También se da sinergismo entre iones de distinta carga: los aniones favorecen la absorción de cationes y viceversa.

En el siguiente esquema se recogen la mayoría de las interacciones entre los distintos nutrientes.



La mayor parte de la absorción de nutrientes se realiza con un gasto de energía por parte de la planta. Esto es lo que se denomina transporte activo. La planta gasta tanta más energía en la nutrición cuanto más dificultad encuentra para poder absorber los nutrientes que necesita. Esta energía procede de la respiración que a su vez está condicionada por la temperatura, disponibilidad de oxígeno (porosidad del suelo, etc.). Todo aquello que mejore las condiciones en las que se desarrollan las raíces y realizan el proceso de absorción, supone un ahorro de energía que repercute en último término en la producción.

No obstante las raíces también pueden absorber iones de forma pasiva (sin gasto de energía).

5.2. Comportamiento de los Elementos Nutritivos

A continuación se resume las funciones, síntomas de deficiencia y/o exceso y formas de absorción de los macronutrientes principales, secundarios y micronutrientes.

NITRÓGENO					
Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Es uno de los constituyentes más importante de todas las plantas. - Es necesario para la formación de clorofila, aminoácidos... - Un adecuado uso del abono nitrogenado implica: <ul style="list-style-type: none"> - desarrollo rápido de la vegetación. - vigor adecuado de la planta. - mayor producción. 				
Excesos:	<ul style="list-style-type: none"> - Un uso excesivo del nitrógeno produce: <ul style="list-style-type: none"> - exuberancia vegetativa, color verde oscuro. - menor floración y cuajado. - aborto de flores. - enternecimiento de las plantas los entrenudos se alargan. - menor resistencia a las heladas. - retraso en la maduración. - mayor sensibilidad a las enfermedades. - peor calidad de frutos (más blandos y huecos). 				
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Menor crecimiento y debilitamiento de la planta. - Clorosis (amarilleamiento). 				
Absorción:	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - En forma nítrica: (NO₃⁻) </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - muy móvil en el suelo. - se absorbe con facilidad. - se lava rápidamente. </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - En forma de amonio: (NH₄⁺) </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - la mayor parte se transforma en nitrato (NO₃⁻) por acción microbiana. - los abonos con amonio son acidificantes. - tarda más tiempo en lavarse ya que lo fija el complejo de intercambio catiónico. - si se acumula en el suelo (mala nitrificación) es tóxico para las raíces. </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> - En forma nítrica: (NO₃⁻) 	<ul style="list-style-type: none"> - muy móvil en el suelo. - se absorbe con facilidad. - se lava rápidamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - En forma de amonio: (NH₄⁺) 	<ul style="list-style-type: none"> - la mayor parte se transforma en nitrato (NO₃⁻) por acción microbiana. - los abonos con amonio son acidificantes. - tarda más tiempo en lavarse ya que lo fija el complejo de intercambio catiónico. - si se acumula en el suelo (mala nitrificación) es tóxico para las raíces.
<ul style="list-style-type: none"> - En forma nítrica: (NO₃⁻) 	<ul style="list-style-type: none"> - muy móvil en el suelo. - se absorbe con facilidad. - se lava rápidamente. 				
<ul style="list-style-type: none"> - En forma de amonio: (NH₄⁺) 	<ul style="list-style-type: none"> - la mayor parte se transforma en nitrato (NO₃⁻) por acción microbiana. - los abonos con amonio son acidificantes. - tarda más tiempo en lavarse ya que lo fija el complejo de intercambio catiónico. - si se acumula en el suelo (mala nitrificación) es tóxico para las raíces. 				

POTASIO

Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Es el principal regulador de la turgencia de las células vegetales. - Aumenta la resistencia a enfermedades y heladas. - Mejora la calidad (azúcares) de los frutos, su peso y coloración. - Adelanta la maduración.
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Amarilleamiento de los bordes de las hojas, llegando a secarse. - Plantas con poca resistencia y vigor. - Promueve la presencia de hongos pues desciende la presión de las células.
Absorción:	<ul style="list-style-type: none"> - En forma iónica (K⁺).

FÓSFORO

Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Favorece el desarrollo de las raíces, sobre todo al principio. - Favorece la floración y el cuajado de frutos. - Aumenta la calidad y cantidad de la cosecha. - Da precocidad a los cultivos. - Mayor resistencia a condiciones adversas (frío, enfermedades...).
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Coloración anormal, tonos oscuros con tintes bronceados, amarillos..., sobre todo en hojas viejas. - Reducción sensible del crecimiento lateral. - Peor calidad y cantidad de raíces y flores.
Absorción:	<ul style="list-style-type: none"> - Como ión fosfato (H₂PO₄⁻). - En general el fósforo es un elemento muy inmóvil en el suelo. - El suelo puede tener reservas de fósforo o se pueden aplicar un abonado de fondo de superfosfato. - En fertirrigación, las aplicaciones normalmente son continuas y de poca cantidad, para reponer lo extraído por las raíces. - Puede formar sales insolubles, como el fosfato de calcio. - Le afecta bastante la temperatura del suelo disminuyendo mucho su movilidad cuando ésta disminuye. - También le afecta el pH del suelo, de manera que la forma mejor absorbida (H₂PO₄⁻) es la que predomina a pH por debajo de 7, por tanto a medida que sube el pH hay menos cantidad disponible para ser absorbido.

CALCIO

Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Actúa en la división celular, para crear nuevos tejidos de la planta. - Mejora la calidad y conservación de los frutos. - Da dureza y consistencia a los frutos.
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del desarrollo de los tejidos nuevos de la planta, apareciendo amarillentos y deformados. - Aparecen podredumbres blanquecinas en los frutos ("peseta") y en col china y lechuga produce tipburn debido a la falta de consistencia de las células. - Menor desarrollo radicular (raíces oscuras y cortas).
Absorción:	<ul style="list-style-type: none"> - En forma iónica (Ca^{+2}).

AZUFRE

Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Forma parte de muchos compuestos orgánicos de la planta (proteínas, vitaminas...). - Es un elemento básico en la estructura de la planta (tallo, brotes...).
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento lento y en general, estructura pobre de la planta (guía, tallos débiles...). - Amarilleamientos en hojas jóvenes, incluidos los nervios. - Formación de frutos incompleta.
Absorción:	<ul style="list-style-type: none"> - En forma iónica (SO_4^{-2}).

MAGNESIO

Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Es un componente muy importante de la clorofila.
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Interviene en los procesos de fecundación. - Amarilleamientos entre los nervios de las hojas viejas. - Las hojas no se secan.
Absorción:	<ul style="list-style-type: none"> - En forma iónica (Mg^{+2}).

MICROELEMENTOS

Microelementos:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Hierro (Fe)</td> <td style="width: 50%;">Manganeso (Mn)</td> </tr> <tr> <td>Cobre (Cu)</td> <td>Molibdeno (Mo)</td> </tr> <tr> <td>Zinc (Zn)</td> <td>Boro (B)</td> </tr> <tr> <td>Cloro (Cl)</td> <td></td> </tr> </table>	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)	Molibdeno (Mo)	Zinc (Zn)	Boro (B)	Cloro (Cl)	
Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)								
Cobre (Cu)	Molibdeno (Mo)								
Zinc (Zn)	Boro (B)								
Cloro (Cl)									
Funciones:	<ul style="list-style-type: none"> - Aunque se necesitan en pequeñas cantidades, son muy importantes para el buen desarrollo de la planta. - Participan en complicados procesos energéticos de las plantas y en la formación y transformación de numerosas sustancias, estaríamos hablando de la llave que hace que funcionen muchos de los mecanismos de la planta. 								
Deficiencias:	<ul style="list-style-type: none"> - Son difíciles de identificar a simple vista. - Se recomiendan análisis foliares. - Pueden ser de varios elementos a la vez. 								
Toxicidades:	<ul style="list-style-type: none"> - Observar los niveles de Boro y Cloro en el agua de riego pues pueden resultar tóxicos si están en elevada cantidad. 								
Absorción:	<ul style="list-style-type: none"> - Hierro, cobre, Zinc y Manganeso se absorben en forma catiónica (+). - Molibdeno, Cloro y Boro se absorben en forma aniónica (-). - El Boro también se absorbe como ácido bórico y de forma pasiva. 								

5.3. Análisis Foliar

➤ **¿Cómo identificar problemas de exceso o de deficiencia de algún nutriente?**

Para detectar los problemas nutricionales el método más seguro consiste en realizar análisis foliares, que pueden ser “rutinarios”, lo cual evitará que se produzcan problemas ya que el análisis lo detecta antes de aparecer los síntomas visuales, o pueden realizarse una vez que se detecta algún problema a través del aspecto que presenta la planta. En éste caso la identificación del problema puede intentarse a través de los síntomas que presenta la planta (lo cual puede ser arriesgado y depende fundamentalmente de la experiencia y del cultivo de que se trate, ya que en algunos los síntomas son más claros que en otros) y se podría confirmar, en todo caso, mediante el análisis foliar.

Sirvan las siguientes recomendaciones para la toma de muestras para la realización de un análisis foliar. Los criterios para interpretación de resultados deben de ser estudiados de acuerdo con el técnico de campo y/o de laboratorio que realizará la correcta interpretación del mismo, la identificación del problema y la causa así como las posibles recomendaciones para corregirlo.

Procedimiento de muestreo de hojas

Siempre hay que tener en cuenta que la hoja a muestrear será la primera totalmente desarrollada, con limbo y peciolo. Normalmente podemos atender al siguiente esquema:

- **Tomate, pimiento y berenjena**, primera hoja totalmente desarrollada, normalmente 4ª - 5ª contando desde el ápice.
- **Pepino, melón, sandía y calabacín**, la primera hoja desarrollada es la 5ª - 6ª contando desde el ápice.
- **Judía**, hoja joven totalmente formada, independientemente de su localización en la planta.
- **Col china, lechuga y apio**, tomaremos siempre la hoja media, considerando como tal a la que se encuentre más próxima al cogollo, pero sin estar adherida a él. Cuando existe riego por aspersión se muestrea a un metro de distancia de los aspersores.
- **Otros cultivos**: consultar con el laboratorio.

Como criterio a seguir para el número de hojas que es necesario recoger, se necesitarán como mínimo 30 hojas por Ha, cogiendo más cuanto más pequeñas sean éstas, aunque lo importantes es que el muestreo sea representativo de la parcela en estudio.

El material ha de ser recogido en bolsas o contenedores de papel (evitar plástico), no demorar la entrega al laboratorio y evitar la exposición al sol.

El momento más adecuado para el muestreo será a primeras horas de la mañana.

Si se intenta la identificación de deficiencias o toxicidades nutricionales mediante la observación de síntomas visuales puede servir de guía el siguiente esquema basado en la movilidad de los distintos nutrientes en la planta.

Parte de la planta	Síntoma fundamental	Desorden
Deficiencias		
Hojas viejas	Clorosis	Uniforme N, S
		Entre los nervios Mg, Mn
Hojas viejas	Necrosis	Necrosis en la punta o bordes de la hoja K
		Entre los nervios Mg, Mn
Hojas jóvenes	Clorosis	Uniforme Fe, S
		Entre los nervios Zn, Mn
Hojas jóvenes	Necrosis Deformaciones	Ca, B, Cu Mo, Zn, B
Toxicidad		
Hojas viejas	Necrosis	Manchas Mn, B
		Necrosis en la punta o bordes de la hoja B (vía foliar)
Hojas viejas	Clorosis, Necrosis	Toxicidad inespecífica

▲ Diagnóstico visual de los desórdenes nutricionales (Marschner, 1986).

La movilidad en el floema es también un aspecto que hay que tener en cuenta en las aplicaciones foliares. En éstas los elementos penetran en las hojas y después se mueven hacia otras partes de la planta, a través del floema. Con los elementos poco móviles en el floema se deben hacer aplicaciones sucesivas, ya que a las zonas de nuevo crecimiento no van a llegar apenas esos elementos desde las hojas viejas.

El aporte de nutrientes a los cultivos se realiza para cubrir las necesidades de los mismos y para reponer aquellos que se han ido utilizando de las reservas del suelo, evitando así que se agoten.

En cultivos intensivos normalmente se utiliza fertirrigación, sistema que permite el aporte continuo de nutrientes y de forma homogénea y equilibrada. Este aporte se realiza fundamentalmente mediante fertilizantes minerales, los cuales pueden aportar uno (abonos simples) o varios nutrientes (abonos complejos y compuestos). El estudio de la fertirrigación se incluye entre los contenidos del módulo 3 por lo que en este tema solamente incluimos algunas consideraciones iniciales sobre los fertilizantes y un cuadro que recoge los más utilizados en riego por goteo, con los nutrientes que aportan y su riqueza.

5.4. Consideraciones Básicas sobre los Fertilizantes

► ¿Qué son los fertilizantes o abonos?

Son sustancias que suministradas a las plantas, aportan elementos nutritivos para complementar sus necesidades de crecimiento y producción.

▼ Abonos Orgánicos

- Mejoran las propiedades físicas del suelo.
- Favorecen la vida microbiana.
- Aportan nutrientes (macro y micronutrientes).
- Favorecen la asimilación de nutrientes minerales.

▼ Abonos Minerales

- Proceden de procesos industriales que extraen las sales minerales mediante reacciones químicas o de canteras naturales.
- Aportan macro y micronutrientes.

► ¿Qué es una unidad fertilizante?

- 1 Unidad Fertilizante de NITRÓGENO (N) = 1 Kg. de N (nitrógeno).
- 1 Unidad Fertilizante de FÓSFORO (P) = 1 Kg. de P_2O_5 (anhídrido fosfórico).
- 1 Unidad Fertilizante de POTASIO (K) = 1 Kg. de K_2O (óxido de potasio).

Las unidades fertilizantes se utilizan para indicar la riqueza de elementos nutritivos que posee un abono. Existen unidades fertilizantes para todos los elementos nutritivos que necesita la planta.

► ¿Cómo se expresa la riqueza de un abono?

- Indicando el tanto por ciento de cada unidad fertilizante que posee el abono.

Ejemplo: Nitrato Potásico (13% N, 46% K_2O).

Esto quiere decir que de cada 100 Kg. de nitrato potásico, 13 Kg. son de nitrógeno y 46 de potasio.

- Indicando la relación N - P_2O_5 - K_2O .

Ejemplo: Nitrato Potásico (13 - 0 - 46).

Esto quiere decir que de cada 100 Kg. de nitrato potásico, 13 Kg. son de nitrógeno, 0 Kg. de P_2O_5 y 46 Kg. son de potasio.

► ¿Qué es el equilibrio de un abono o de un abonado?

Es la relación existente entre los elementos nutritivos componentes del mismo, es decir, saber cuántas veces le estoy aportando más de un elemento que de otro.

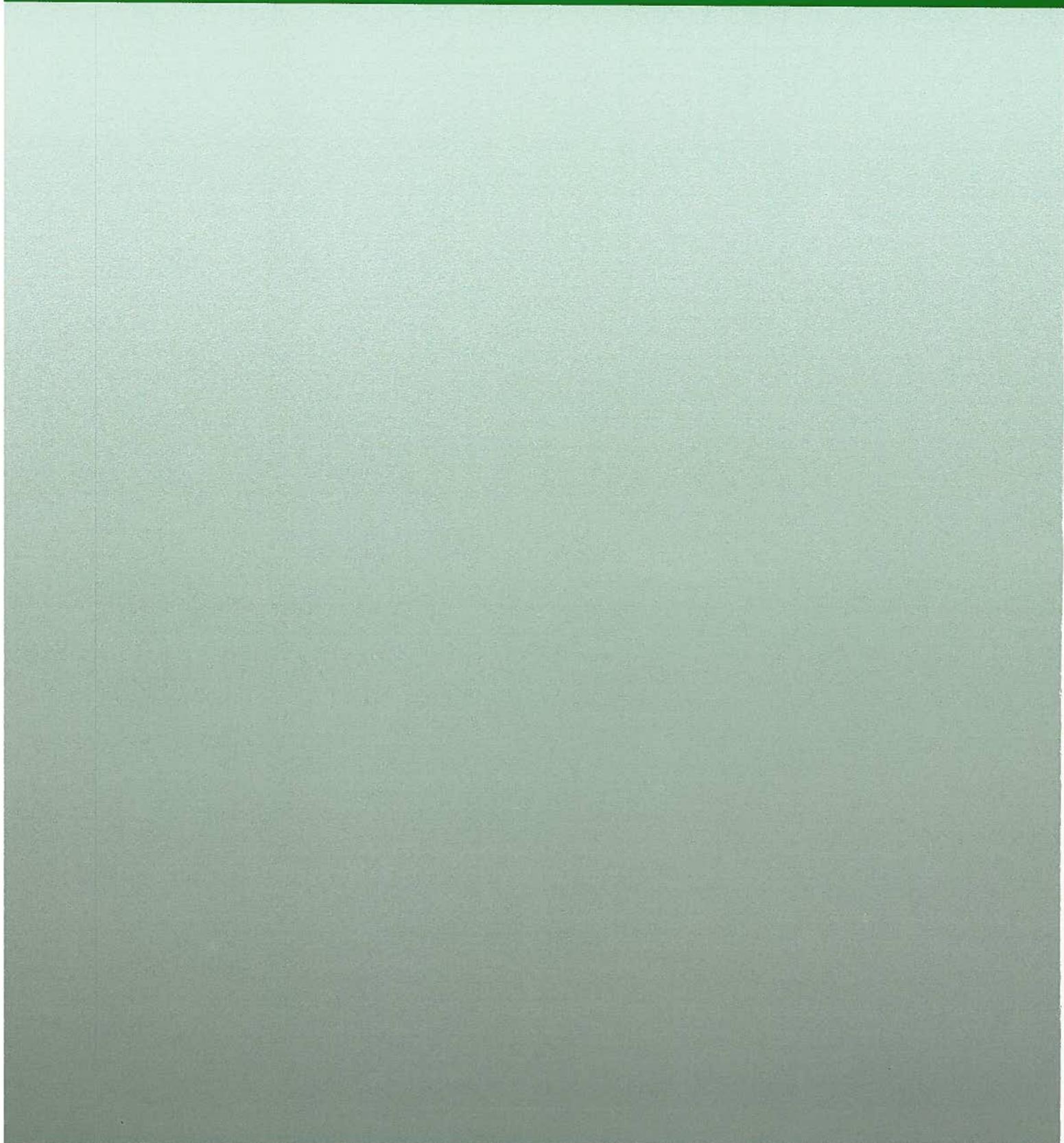
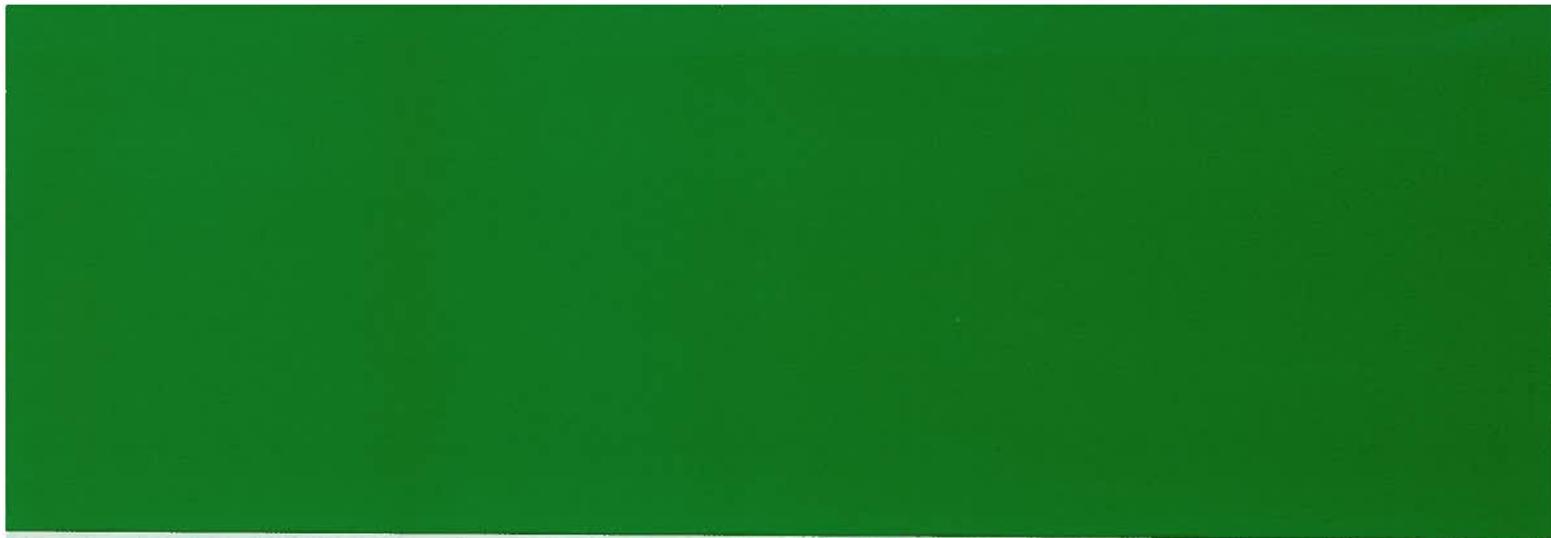
¿Cómo se calcula? Dividiendo todas las concentraciones (en caso de abono) o aportaciones (en caso de abonado) por la cantidad más pequeña.

Ejemplo: Un abono 15 - 5 - 30 tiene un equilibrio 3 - 1 - 6.

Para calcularlo hemos tenido que dividir cada número entre 5. Un equilibrio 3 - 1 - 6 quiere decir que el abono por cada cantidad que aporta de P_2O_5 , está aportando el triple de N y 6 veces más de K_2O .

Fertilizante	Fórmula	Nitrógeno (N)	Riqueza (%)					Influencia en el pH
			Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)	Calcio (CaO)	Magnesio (MgO)	Azufre (S)	
Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	33,5					ligeramente ÁCIDA	
Sulfato amónico	(NH ₄) ₂ SO ₄	21				24	ligeramente ÁCIDA	
Nitrato de calcio	Ca (NO ₃) ₂ ·4 H ₂ O	15,5		17			ligeramente ÁCIDA	
Fosfato Monopotásico	KH ₂ PO ₄		53	34			ligeramente BÁSICA	
Fosfato Monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	12	61				ligeramente ÁCIDA	
Nitrato de Potasio	KNO ₃	13		46			ligeramente BÁSICA	
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄			50		18	ligeramente ÁCIDA	
Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ ·7 H ₂ O				10	13	ligeramente ÁCIDA	
Nitrato de Magnesio	Mg (NO ₃) ₂	11			9		ligeramente ÁCIDA	
Ácido Nítrico 56%	HNO ₃	12,6					MUY ÁCIDA	
Ácido Fosfórico 75%	H ₃ PO ₄		50				MUY ÁCIDA	
Ácido Fosfórico 56%	H ₃ PO ₄		40				MUY ÁCIDA	

II. El Suelo



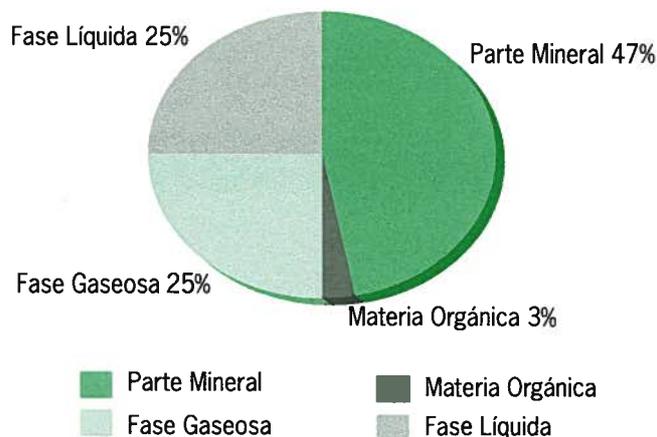
1. Propiedades Físicas

1.1. Componentes del Suelo

Los suelos están constituidos por tres fases:

SÓLIDA, LÍQUIDA Y GASEOSA.

En la siguiente figura se muestra la composición media de un suelo normal, expresada en tantos por ciento:



▲ Gráfico 1. Componentes del Suelo.

La fase sólida, que por término medio ocupa el 50% del volumen total del suelo, esta formada por una parte mineral o componentes inorgánicos (45-50%) y por materia orgánica o componentes orgánicos (0-5%).

Estos componentes inorgánicos y orgánicos dejan entre si espacios huecos llamados **poros**, los cuales representan el restante 50% del volumen total. Por estos poros circula la solución del suelo (agua y sales disueltas) y aire.

A continuación vamos a ver más detenidamente la composición e importancia de cada una de las fases que forman el suelo.

1.2. Fase Sólida

Constituida por una parte mineral y por materia orgánica.

1.2.1. Componentes Minerales

Los componentes minerales de un suelo son el resultado de la disgregación a lo largo de miles de años de la "roca madre". Esta disgregación puede llevarse a cabo de dos formas:

– Por meteorización física (fragmentación) de la roca madre, da lugar a partículas con la misma composición que la roca madre: arena y limo.

– Por meteorización química y biológica de la roca madre, da lugar a distintos tipos de arcillas.

► **¿Cómo podemos conocer las partículas que tiene nuestro suelo, cómo se agrupan entre ellas y en qué medida ello influye en las características agronómicas del suelo?**

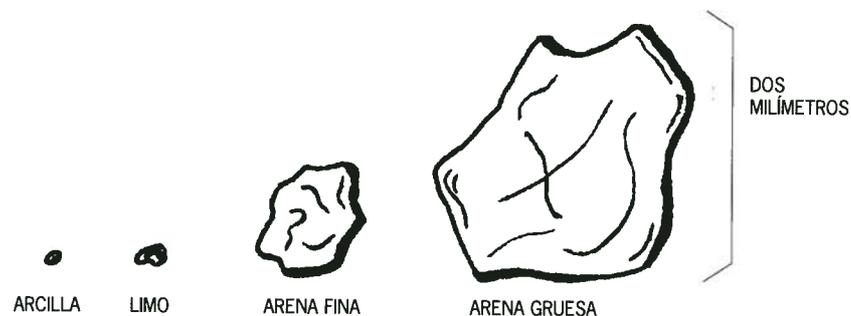
Analizando la textura y estructura que tiene ese suelo.

1.2.2. Textura

Los suelos están constituidos por partículas de diferentes tamaños, de tal forma que muchas de sus características físicas dependen del tamaño de las partículas que lo componen.

Según el tamaño (diámetro) que tienen las partículas éstas se clasifican en varios grupos como se puede apreciar en el siguiente cuadro:

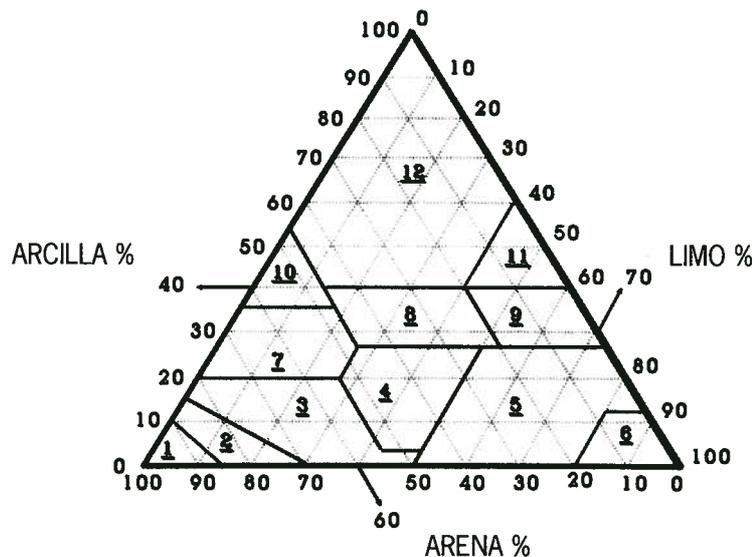
Tipos de Partículas	Diámetro (mm)
Elementos gruesos	más de 2 mm
Arena	2 - 0,02 mm
Limo	0,02 - 0,002 mm
Arcilla	menos de 0,002 mm



▲ Fig. 4. Esquema del tamaño de las partículas finas y sus correspondientes nombres.

Para poder determinar las características físicas que tiene un suelo es necesario averiguar cual es la proporción que existe entre arena, limo y arcilla. **La textura de un suelo es la cantidad o proporción de arcilla, limo y arena que contiene dicho suelo.**

Una vez que se conocen esos datos, al suelo se le atribuye una textura o clase textural. Para representar las distintas texturas se emplean los denominados triángulos de textura o diagramas texturales como el que se muestra a continuación. Con los datos conocidos de cantidades de arena, limo y arcilla (expresados en %) se entra en el triángulo, obteniendo como resultado la textura correspondiente.



▲ Fig. 5. Clasificación del suelo por textura. (Sistema USDA).

ARENOSA	1	FRANCO ARCILLO ARENOSA	7
ARENOSA LIMOSA	2	FRANCO ARCILLOSA	8
FRANCO ARENOSA	3	FRANCO ARCILLO	9
FRANCA	4	ARCILLO ARENOSA	10
FRANCO LIMOSA	5	ARCILLO LIMOSA	11
LIMOSA	6	ARCILLOSA	12

Los elementos gruesos no se consideran para determinar la textura, aunque tienen importancia en algunas propiedades físicas del suelo:

- Entorpecen las labores.
- Pueden dificultar el desarrollo de raíces.
- Pueden tener un cierto efecto beneficioso al mejorar la infiltración del agua.

La textura tiene una gran influencia en las propiedades agrícolas de un suelo pues determina una serie de características como:

- Facilidad para el laboreo.
- Riesgo de erosión.
- Riesgo de formación de costras superficial.
- Facilidad para la circulación de agua.
- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas.
- Capacidad para almacenar nutrientes.

En general se puede afirmar que la textura ideal desde el punto de vista agronómico es la **textura franca** ya que en ella, el equilibrio existente entre las cantidades de las distintas partículas (arcilla 10-30%, limo 30-50% y arena 20-50%) reúne las ventajas de cada una de ellas y elimina sus inconvenientes.

Vamos a ver los tres tipos básicos de suelos según su textura y las propiedades más generales de cada uno de ellos:

▼ SUELOS ARENOSOS

Llamados suelos ligeros.

- Con mayor porcentaje de arena que de limo y arcilla.
- Son muy permeables, es decir, permiten el paso del agua con facilidad.
- Poca capacidad para retener agua.
- Presentan un grado alto de aireación.
- Fáciles de labrar.
- Poca inercia térmica (se calientan y se enfrían muy fácilmente).
- Escasa capacidad para retener nutrientes.
- Difíciles de compactar.
- Facilidad a la penetración de raíces.

▼ SUELOS ARCILLOSOS

Llamados suelos pesados.

- Predominan las partículas de arcilla.
- Poco permeables, pudiendo presentar problemas de drenaje y encharcamiento.
- Alta capacidad de retención de agua.
- Difíciles de labrar.
- Gran inercia térmica.
- Fertilidad química alta.
- Mala aireación.
- Fáciles de compactar.
- Dificultad a la penetración de raíces.

El contenido en arcilla en un suelo resulta mucho más determinante del comportamiento del mismo y de la respuesta de las plantas, que los restantes componentes. Debe haber unas tres veces más arena gruesa que arcilla para que el suelo tenga unas propiedades condicionadas por la arena, más que por la arcilla.

▼ SUELOS FRANCOS

En general son de características intermedias entre las de los suelos arenosos y arcillosos. Su fertilidad depende en gran medida de la capacidad que tenga para formar una buena estructura.

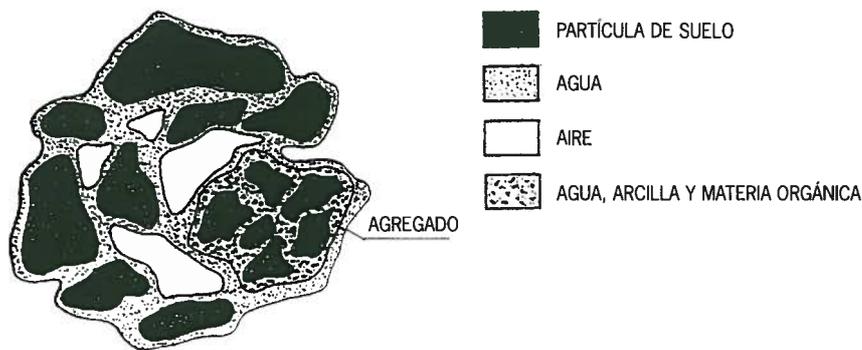
1.2.3. Estructura

La estructura representa la forma en que se unen las distintas partículas minerales del suelo constituyendo agregados, los cuales a su vez pueden asociarse entre sí formando los típicos “terrones”. De esta forma las partículas sólidas del suelo (arcilla, limo y arena) no se encuentran sueltas unas de otras, sino que generalmente se agrupan entre ellas formando **agregados**.

Al constituirse los agregados, las partículas más gruesas (arena y limo) actúan de esqueleto mientras que las más finas (arcilla y humus) sirven de cemento de unión, de tal forma que el humus y la arcilla forma el llamado **complejo arcillo-húmico**.

El **humus** es una sustancia que procede de la descomposición de la materia orgánica del suelo y **su papel más importante es el de servir de cemento o pegamento entre las partículas minerales, permitiendo así que el suelo pueda tener estructura**.

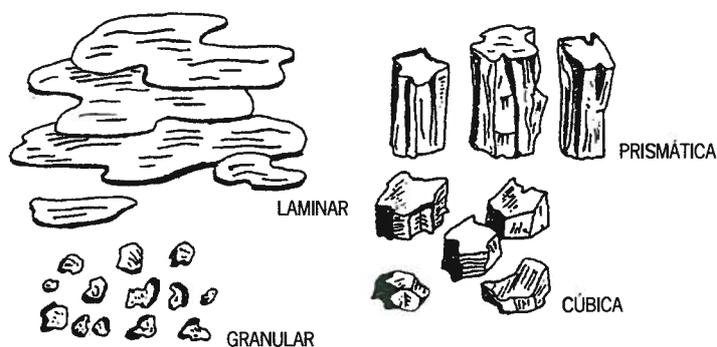
Otro elemento que tiene un papel fundamental en la estructura del suelo es el ion calcio. El calcio colabora junto con el humus a la unión de las partículas del suelo. En esto se diferencia especialmente del sodio ya que este último tiende a separar las partículas del suelo, es decir a romper la estructura. Se dice que **el calcio agrega** mientras que **el sodio dispersa el suelo**.



▲ Fig. 6. Formación de agregados.

Las partículas y los agregados del suelo constituyen “piezas” o elementos que no encajan entre sí como un puzzle evitando que el suelo se compacte y dejando espacios vacíos que pueden ser grandes (**macroporos**) y pequeños (**microporos**) que se comunican entre sí formando “canalillos” en el suelo, a través de los cuales circula el aire y el agua además de crecer por ellos las raicillas. Normalmente los poros más grandes son ocupados por aire y los más pequeños por agua.

Hay muchos tipos de estructuras según la forma, tamaño, disposición y estabilidad de los agregados. En la figura se puede observar varios tipos de estructuras que suponen un comportamiento distinto de los suelos en cuanto a retención, disponibilidad y movimiento del agua así como a las condiciones de aireación y permeabilidad del suelo a las raíces.



▲ Fig. 7. Diversos tipos de estructura.

En general cuando un suelo tiene buena estructura se encuentra “mullido”, con poros grandes que permiten el paso del aire, del agua y de las raíces, y con poros pequeños capaces de retener agua y nutrientes. La estructura controla una serie de características del suelo, que hemos resumido en el siguiente cuadro:

Propiedad afectada	Efecto de una buena estructura
• Superficie del suelo.....	Difícil formación de costra .
• Movimiento del agua.....	Mejor penetración del agua en el suelo. Aumento de la capacidad para retener agua.
• Porosidad.....	Buena circulación de aire, agua y nutrientes. Mayor facilidad para el crecimiento de raíces.
• Compacidad.....	El suelo se compacta más difícilmente. Mayor facilidad de laboreo.

▼ **Conservación y degradación de la estructura**

La estructura no es estable en el tiempo existen diversas situaciones y actuaciones que ayudan a conservar o a destruir la estructura de un suelo, entre las que podemos citar las siguientes.

• **Conservación**

- Un buen drenaje evita el encharcamiento y permite el lavado de sales.
- Una buena rotación de cultivos.
- Un buen contenido en humus, mediante el suministro de manera adecuada de materia orgánica.
- Un adecuado contenido de calcio, realizando encalado en suelos pobres en calcio o ricos en sodio.
- Laboreo adecuado tanto en la época, como en el tipo de apero empleado y en la intensidad del mismo.
- Evitar riegos con aguas salinas y evitar el abuso de abonos.

• **Destrucción**

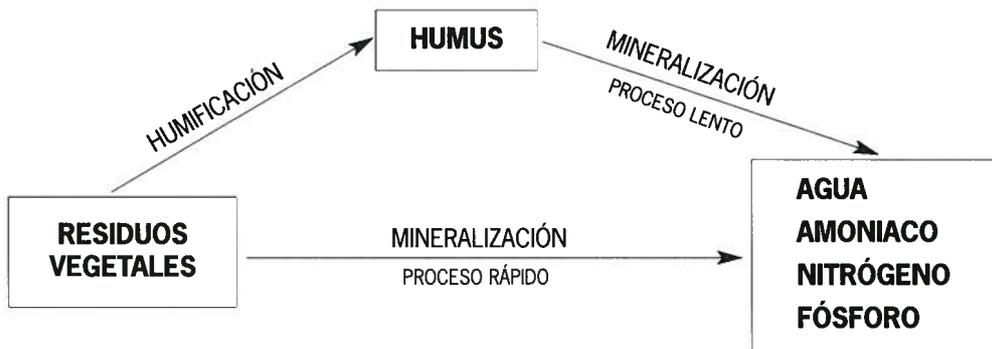
- El sodio disminuye la cohesión y tiende a separar las partículas minerales del suelo, por tanto un contenido elevado es perjudicial para la estructura ya que rompe los agregados.
- Laboreo en períodos desfavorables, con aperos inadecuados o en exceso.
- No reponer la materia orgánica a medida que se vaya agotando en el suelo.

1.2.4. Componentes Orgánicos (materia orgánica)

La materia orgánica del suelo está formada por todos los restos vegetales y animales más o menos descompuestos que se encuentran en él o que se le incorporan.

La materia orgánica fresca se transforma en el suelo por medio de diversos procesos químicos y biológicos, a compuestos relativamente estables generalmente de colores oscuros gracias a la intervención de microorganismos del suelo que la descomponen. Estos procesos se conocen como **humificación**, y a los compuestos resultantes se les denomina **humus**.

Tras la humificación, la vida de la materia orgánica termina con la **mineralización**, es decir, los compuestos orgánicos van transformándose en compuestos inorgánicos o minerales con el paso del tiempo. Estos dos procesos se dan al mismo tiempo en el suelo siendo procesos continuos y paralelos.



Las condiciones que favorecen la descomposición de la materia orgánica son las siguientes:

- Temperatura elevada.
- Humedad suficiente pero no excesiva.
- Buena aireación.
- Residuos ricos en nitrógeno.
- Residuos fácilmente atacables por los microorganismos.

▼ **Propiedades de la materia orgánica**

La importancia que tiene la materia orgánica deriva de su intervención en diversos procesos, tales como:

- *Estructura del suelo.*

Favorece:

- La formación de agregados.
- Velocidad y circulación del agua.
- Penetración de raíces.
- Resistencia a la erosión.
- Resistencia a la formación de costra superficial.
- Aireación.

- *Retención y suministro de agua.*

Tiene una gran capacidad de retención de agua (el humus retiene hasta 15 veces su peso en agua).

- *Biología del suelo.*

Proporciona nutrientes a los microorganismos del suelo, estimulando su actividad.

- *Fertilidad del suelo.*

- Proporciona nutrientes a los cultivos través de la mineralización.
- Proporciona al suelo una gran capacidad para almacenar nutrientes minerales disminuyendo las pérdidas por lavado.
- Presenta un efecto tampón, controlando la acidez y alcalinidad del suelo.
- Facilita la absorción de abonos minerales.

- *Estimula el crecimiento de las plantas.*

Contiene reguladores del crecimiento.

▼ **Humus**

La materia orgánica fresca, mediante la humificación, se transforma en lo que se conoce como **humus**. Este proceso es fruto de la actividad de microorganismos del suelo, obteniendo éstos energía y nutrientes de su actividad.

Este humus presenta distintas fracciones o componentes:

- *Humina.*

Fracción insoluble del humus. De escaso interés por el bajo contenido que el humus tiene en humina y por su reducida capacidad de reacción.

- *Ácidos húmicos.*

Fracción soluble del humus. Representan la parte más importante del humus, llegando a representar el 80% del mismo.

Tienen un efecto mejorante de la estructura del suelo por participar en la formación de agregados.

- *Ácidos fúlvicos.*

Se originan cuando la humificación se realiza con poca actividad biológica.

Los preparados comerciales de sustancias húmicas son el resultado de mezclar ácidos húmicos y fúlvicos en diferentes proporciones. Estos presentan características mejorantes del suelo tanto físicas, químicas, biológicas, así como la activación de algunas funciones fisiológicas de los cultivos. Pero estas propiedades son muy diferentes dependiendo de la procedencia (material a partir del cual se han extraído), de los métodos de extracción utilizados y del porcentaje entre ácidos fúlvicos y ácidos húmicos que presenten. Por lo tanto no se puede cuantificar de forma general cuales son sus efectos mejorantes, aunque lo que si parece claro es que sus efectos sobre el suelo son mucho menos duraderos que las mismas sustancias naturales originadas "in situ" a partir del aporte de materia orgánica al propio suelo.

▼ **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)**

Es el cociente entre el carbono orgánico y el nitrógeno total contenidos en la materia orgánica. De este valor depende, a parte de otros factores mencionados anteriormente, cual será la evolución de la materia orgánica en el suelo.

En el siguiente cuadro se puede ver la relación C/N que tienen diferentes materias orgánicas frescas:

Materia	Relación C/N
Paja de trigo.	70
Forraje verde de gramíneas.	30 - 40
Forraje de leguminosas.	20 - 30
Estiércol poco hecho.	25 - 30
Estiércol descompuesto.	15 - 25
Ácidos húmicos.	3 - 5

Los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica necesitan por una parte energía y por otra nitrógeno (N) para formar sus propias proteínas. En este proceso se desprende CO_2 , disminuyendo la relación C/N.

Cuanto más alta sea esta relación, mayor energía tendrán a su disposición los microorganismos y más rápido será su crecimiento. A medida que se consume esa energía, la actividad microbiana disminuye hasta que se estabiliza, normalmente en valores en torno a C/N=10.

Al enterrar algunos restos vegetales cuya relación C/N sea muy alta (por ejemplo rastrojo de cereales) sería conveniente aportar nitrógeno con el fin de que exista suficiente cantidad a disposición de los microorganismos y de las plantas.

También una relación C/N muy alta nos puede indicar un suelo poco fértil, donde la actividad microbiana es baja y la materia orgánica evoluciona con lentitud.

En la siguiente tabla se puede ver el efecto que tienen las distintas relaciones C/N.

C/N	menor de 10	10	mayor de 10
Efecto	<ul style="list-style-type: none"> Materia orgánica muy humificada. Gran liberación de N mineral. 	<ul style="list-style-type: none"> Equilibrio, situación deseable. 	<ul style="list-style-type: none"> Exceso de energía, posible bloqueo de N mineral. Materia orgánica no humificada. Suelo poco fértil.

1.3. Fase Líquida

La fase líquida está constituida por la solución del suelo, es decir el agua que hay en el suelo junto con las sales que tenga disueltas. La solución del suelo ocupa los poros que quedan entre las partículas sólidas del mismo.

Parte del agua que existe en el suelo se conoce como **“agua libre”**, este agua circula por los poros de mayor tamaño libremente y se ve arrastrada hacia abajo por acción de la gravedad. En ella se engloba tanto el agua disponible para las plantas (**agua útil**) como el agua que se infiltra a horizontes profundos (**agua de drenaje**). El resto del agua constituye una segunda categoría denominada como **“agua no disponible”**, es decir agua que el suelo retiene tan fuertemente que las plantas no pueden absorberla.

1.3.1. Balance del Agua en el Suelo

La cantidad de agua que hay en un suelo no es constante, existen pérdidas debidas a:

- Evaporación.
- Absorción por parte de las raíces.
- Drenaje a zonas más profundas.

El agua se repone por:

- Lluvia.
- Riego.

1.3.2. Contenido de Humedad y Agua Útil

El suelo pasa por los siguientes estados, según el nivel de humedad que tenga:

- **Suelo saturado de agua.** Todos sus poros, pequeños y grandes se encuentran llenos de agua.

El agua que ocupa los poros más grandes está retenida con poca fuerza en ellos y pasa por acción de la gravedad a zonas más profundas. El agua que desciende por debajo de la profundidad a donde llegan las raíces, se considera como **“agua de drenaje”**. Su importancia deriva de que **permite lavar sales y arrastrarlas fuera de la zona donde viven las raíces.**

Evidentemente en este instante apenas existe aire en el suelo dado que todos los poros están llenos de agua.

La cantidad de agua que es necesaria para saturar un suelo se conoce como **Porcentaje de Saturación**, expresada en tanto por ciento con respecto al peso de suelo seco. Se designa por la abreviatura **Ps**.

- **Capacidad de campo.** Es la cantidad máxima de agua que un suelo retiene una vez que ha finalizado el drenaje. Normalmente para designarla se utilizan la abreviatura **Cc**.

Cuando se alcanza este nivel de humedad comienza a existir en el suelo un equilibrio adecuado entre la cantidad de agua y de aire.

Numéricamente la capacidad de campo se puede expresar en tanto por ciento con respecto al peso de suelo seco, representado aproximadamente el 50% del valor del porcentaje de saturación. Existe una relación directa entre la textura que tiene un suelo y la cantidad de agua que este suelo puede retener, por lo tanto el valor que alcance la capacidad de campo vendrá determinada en gran parte por la textura del suelo como muestra el siguiente cuadro:

Capacidad de campo expresado en % del peso de tierra seca	
Suelo arenoso	6 a 12 %
Suelo franco-arenoso	10 a 18 %
Suelo franco	18 a 26 %
Suelo franco-arcilloso	23 a 31 %
Suelo arcillo-arenoso	27 a 35 %
Suelo arcilloso	31 a 39 %

- **Punto de marchitez.** Conforme el contenido de agua en el suelo va descendiendo las plantas irán encontrando una mayor dificultad para absorber ésta, de tal forma que llega un momento en el que se inician los fenómenos de la marchitez. Cuando tras un aporte de agua la planta se puede recuperar se dice que el suelo se encontraba en estado de **marchitez temporal**.

Cuando el estado de marchitez es irreversible y la planta no se recupera, el suelo se encuentra en un estado de **marchitez permanente**, se ha alcanzado el **punto de marchitamiento permanente (Pm)**.

El valor del punto de marchitez suele estar en torno al 50% el valor de la capacidad de campo (Cc).

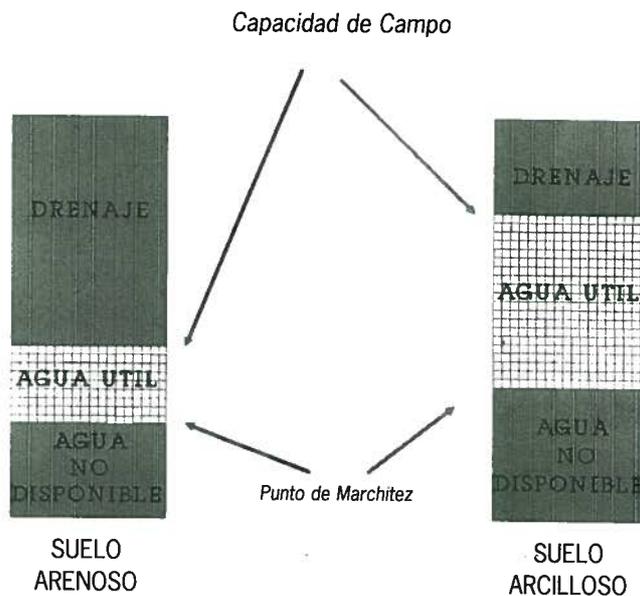
Punto de marchitez expresado en % del peso de tierra seca	
Suelo arenoso	2 a 6 %
Suelo franco-arenoso	4 a 8 %
Suelo franco	8 a 12 %
Suelo franco-arcilloso	11 a 15 %
Suelo arcillo-arenoso	13 a 17 %
Suelo arcilloso	15 a 19 %

- **Agua disponible para las plantas.** También denominada como **agua útil**, es aquella cantidad de agua que representa la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez.

En horticultura intensiva es imprescindible un buen manejo del riego para ir reponiendo el agua del suelo. Habrá que procurar que el suelo esté siempre lo más próximo posible a capacidad de campo, pues así la planta tiene un gasto mínimo de energía, para absorber agua y nutrientes, repercutiendo evidentemente sobre la producción.

Para conocer el nivel de humedad del suelo existen distintos métodos, pero el más utilizado actualmente en el campo es la medida a través del **tensiómetro**. Este aparato nos permite saber el nivel de humedad en el suelo, e incluso si se automatiza puede controlar el manejo del riego. El objetivo en cualquier caso será mantener el nivel de humedad lo más constante posible y próximo a la capacidad de campo. Sobre su instalación y manejo se describirá debidamente en el módulo 3 dedicado a riegos y fertirrigación.

En la figura se puede apreciar gráficamente el distinto comportamiento del agua en un suelo arenoso y en uno arcilloso si regásemos ambos suelos con la misma cantidad de agua.



▲ Fig. 8. Comportamiento del agua en suelos arenosos y arcillosos.

- El **suelo arenoso** tiene poca capacidad para retener agua y gran parte de ésta se pierde por drenaje, siendo escasa la cantidad que queda como agua útil para la planta.
- El **suelo arcilloso** retiene mucha agua, perdiéndose poca por drenaje. Por tanto la cantidad de agua almacenada en capacidad de campo es muy elevada, lo que da lugar a un gran volumen de agua útil que puede abastecer a la planta durante bastante tiempo.

Sin embargo el punto de marchitamiento se alcanza cuando todavía queda mucha agua en el suelo, debido a que ésta está tan fuertemente retenida por las arcillas que la planta no puede extraerla.

En conclusión se puede decir que los suelos arenosos hay que regarlos con riegos cortos, para no desperdiciar agua por drenaje, y más frecuentes pues de capacidad de campo se pasa muy rápidamente al punto de marchitamiento.

Por el contrario los suelos arcillosos permiten riegos más intensos y más espaciados en el tiempo ya que son capaces de almacenar mucha agua útil. Esto sin tener en cuenta otras consideraciones como el sistema de riego utilizado, calidad del agua, etc. cuya influencia sobre el manejo del riego será estudiada en el módulo 3.

1.4. Fase Gaseosa

La fase gaseosa es el aire que contienen los poros del suelo no ocupados por agua. El contenido de gases del aire del suelo es parecido al contenido de la atmósfera. Es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono. La concentración de oxígeno y dióxido de carbono cambia según las condiciones de aireación y según la actividad biológica del suelo.

Con respecto al aire de la atmósfera el aire del suelo normalmente contienen menor proporción de oxígeno y mayor proporción de dióxido de carbono.

La presencia de oxígeno resulta imprescindible para la respiración de las raíces y de los microorganismos que viven en él. Hay que tener en cuenta también que el consumo de oxígeno (la respiración) es mayor, cuando las raíces están sometidas a algún tipo de estrés, por ejemplo, exceso de sales en la solución del suelo.

Para que no haya problemas de falta de oxígeno hay que conseguir una buena aireación del suelo. Como ya hemos visto, los principales factores que intervienen en la aireación son:

- **Textura:** Un suelo arenoso está mejor aireado que uno arcilloso, debido a que los poros del primero están mejor comunicados entre sí.
- **Estructura:** Los suelos que tienen una estructura adecuada contienen suficientes poros por donde el aire puede circular con facilidad. La materia orgánica mejora la estructura del suelo y por tanto su aireación.
- **Cantidad de agua:** El estado ideal de aireación y humedad es la Capacidad de Campo que habrá que tratar de mantener cuando el manejo del riego lo permita.
- **Las labores de cultivo:** Con el apero adecuado y en el momento oportuno; de no ser así, se rompen los agregados disminuyendo el tamaño de los poros y dificultando la aireación.

2. Propiedades Químicas

Las principales propiedades químicas que vamos a estudiar en los suelos son tres: Capacidad de Intercambio Catiónico, pH y Conductividad Eléctrica.

2.1. Capacidad de Intercambio Catiónico

Previamente, vamos a introducir dos conceptos que son básicos para una mejor comprensión de estas propiedades, estos conceptos son la solución del suelo y el complejo arcillo-húmico.

2.1.1. La Solución del Suelo

Denominamos así al **agua existente en el suelo y los nutrientes disueltos en ella**. Estos nutrientes son los que ya contiene el suelo más los aportados en el abonado.

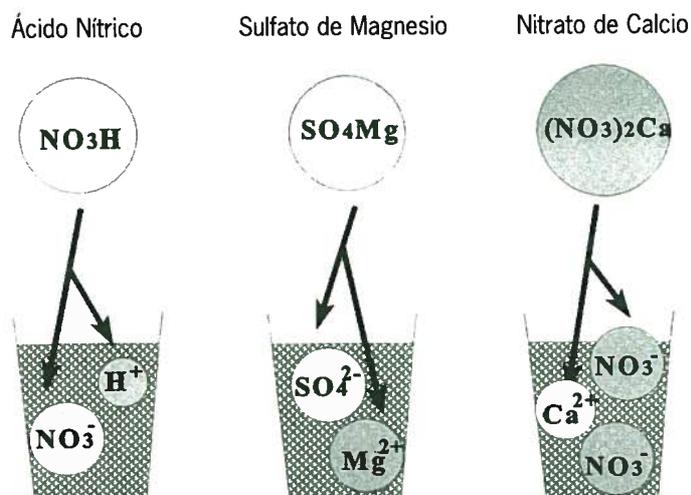
En nuestro tipo de agricultura, intensiva de regadío, el agua es aportada en los riegos localizados conjuntamente con los fertilizantes, es lo que llamamos **fertirriego** (objeto de estudio en el módulo 3). Este sistema permite un aporte continuo de agua y nutrientes, por lo que la composición de la solución del suelo es "fácilmente" variable en función del manejo de los fertilizantes y dosis utilizadas.

Los nutrientes, en forma de sales, al entrar en contacto con el agua de riego quedan en parte disueltos, al disociarse su parte negativa (**aniones**) y su parte positiva (**cationes**). Entre ellos cabe destacar:

Cationes		Aniones	
Calcio	(Ca ⁺⁺)	Fosfato	(H ₂ PO ₄ ⁻)
Magnesio	(Mg ⁺⁺)	Sulfato	(SO ₄ ²⁻)
Potasio	(K ⁺)	Nitrato	(NO ₃ ⁻)
Amonio	(NH ₄ ⁺)	Cloruro	(Cl ⁻)
Hidrógeno	(H ⁺)		

Las plantas no se nutren de los fertilizantes en forma de sales (sin disociar), sino que absorben los correspondientes cationes y aniones, una vez que los abonos se han disociado en contacto con el agua. Por tanto, cuando las raíces absorben agua, están absorbiendo también los nutrientes disueltos en ella, necesarios para el crecimiento y producción de las plantas.

En la siguiente figura se puede ver la forma de disociarse diferentes fertilizantes en contacto con el agua de riego y los cationes y aniones que quedan a disposición de la planta:



▲ Fig. 9. Disolución de fertilizantes en agua.

Además de los aportados con los fertilizantes, el agua puede llevar otros iones que habrá que tener en cuenta antes de calcular los abonados. Algunos de estos iones son nutrientes para los cultivos (Ca^{2+} , Mg^{2+}) y otros no son necesarios e incluso pueden ser tóxicos a partir de ciertas concentraciones (Na^+).

Los aniones suelen estar en la solución del suelo o bien fijados por el suelo, como los fosfatos, que en suelos de tipo alcalino, tienden a formar compuestos insolubles con el calcio del suelo, no siendo totalmente disponible para las plantas. Los aniones que se retienen con mayor fuerza son, de mayor a menor: fosfatos, sulfatos, nitratos y cloruros. Por tanto, al abonar con fertilizantes nitrogenados, a base de nitratos (NO_3^-), el suelo no retiene este anión, quedando en la solución del suelo por lo que puede ser arrastrado antes de ser absorbido por la planta, en caso de que estemos aportando agua de riego en exceso (drenaje).

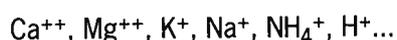
Los cloruros tienen un comportamiento parecido a los nitratos (se lavan muy fácilmente) mientras que los sulfatos se comportan de forma intermedia (parte son retenidos como los fosfatos y parte lavados como los nitratos).

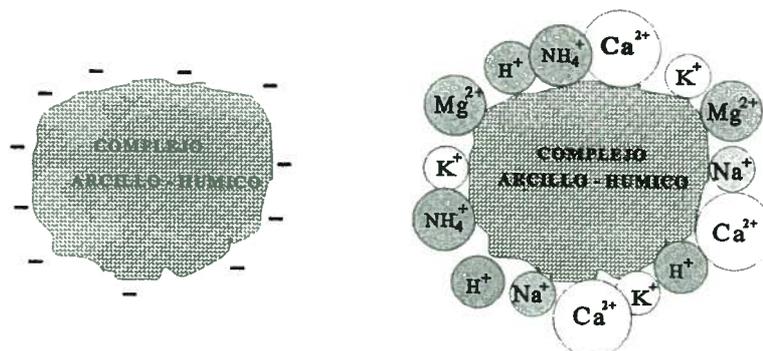
2.1.2. Complejo Arcillo-Húmico

En el suelo encontramos partículas muy finas (coloides) de arcilla y humus cargadas negativamente; por este motivo tienen capacidad de retener en su superficie iones con cargas positivas (cationes). Estos, se encuentran en continuo movimiento alrededor de los coloides y se pueden cambiar por otros cationes. De esta manera, estos cationes se denominan intercambiables y el proceso se denomina de intercambio catiónico.

El conjunto de partículas del suelo con la propiedad de intercambiar elementos recibe el nombre de **complejo de cambio** o **complejo adsorbente**, y está constituido por las partículas de arcilla y humus del suelo.

Este complejo de cambio, como ya se ha dicho, tiene en toda su superficie cargas negativas, por lo que los nutrientes o las partículas minerales que pueden ser retenidas e intercambiadas por él, son los que tienen carga positiva (cationes):





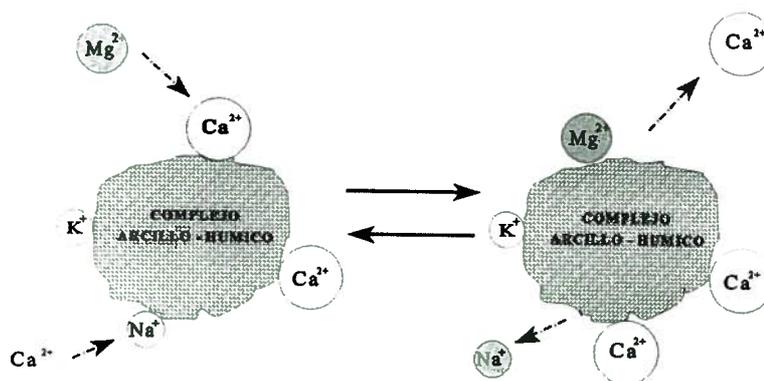
▲ Fig. 10. Complejo de cambio.

En lo que se refiere a la fuerza con la que los cationes son adsorbidos en la superficie de intercambio, podemos decir que el catión más retenido es el hidrógeno, y le siguen en orden de mayor a menor adsorción, amonio, calcio, magnesio, potasio y sodio.

En suelos alcalinos (pH mayor de 7), que son los que predominan en nuestra zona, la presencia de iones H^+ es poco importante, por lo que en adelante no los vamos a considerar a efectos de la capacidad de intercambio catiónico.

Algo parecido ocurre con los iones amonio (NH_4^+), que normalmente son rápidamente transformados en iones nitrato, mediante nitrificación (tanto más rápido cuanto más favorables son las condiciones de temperatura, humedad y pH del suelo).

Los cationes de cambio pasan constantemente de la solución del suelo al complejo de cambio y al revés, estableciéndose entre estas dos fracciones un equilibrio:



▲ Fig. 11. Intercambio de cationes.

Como consecuencia de todo esto:

- Los cationes, si se suministran en las cantidades requeridas por las plantas, podrán ser retenidos en parte (la parte no consumida) en el complejo de cambio, constituyendo una reserva (almacén) de nutrientes en el suelo.

- Los elementos que se retienen con menos fuerza pueden ser más fácilmente lavados, por ejemplo, el sodio y el potasio.

▼ **Capacidad de intercambio catiónico. C.I.C.**

Se conoce por **Capacidad de Intercambio Catiónico a la cantidad total de cationes que pueden ser retenidos por unidad de masa de suelo**. Se expresa en miliequivalentes/100 grs. de suelo.

Esta capacidad implica dos aspectos fundamentales en los suelos:

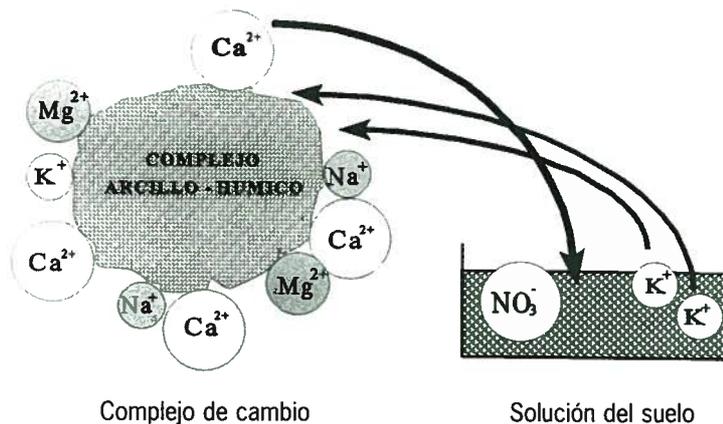
a) el suelo tiene la propiedad o posibilidad de almacenar nutrientes.

b) los nutrientes almacenados se intercambian con los de la solución del suelo para estar en disposición de ser absorbidos por las plantas.

La consecuencia inmediata de estas dos propiedades es que el suelo interfiere sobre el equilibrio de nutrientes que se aporta con el agua de riego, lo que impide controlar la nutrición del cultivo. En definitiva, entre la solución de riego (solución nutritiva) y la planta, está el suelo. El suelo es el intermediario entre fertilizantes y planta, sus características, tanto físicas (textura) como químicas, actúan en el proceso de la nutrición acumulando y reservando, intercambiando y poniendo a disposición de la planta los elementos disponibles y requeridos en cada momento.

El proceso de intercambio de cationes entre el complejo de cambio y la solución del suelo se realiza según la concentración del catión en uno u otro lugar, siempre pasando desde donde hay mayor concentración de éste hacia donde existe menor concentración y está lógicamente influida por los nutrientes que la planta esté absorbiendo en mayor cantidad en cada momento.

Por ejemplo, cuando se incorpora al suelo un abono potásico, al disolverse éste en el agua se incrementa el número de cationes de potasio (K^+) en la solución del suelo. Algunos de éstos cationes se pueden intercambiar con otros que se encuentran adsorbidos en el complejo de cambio, los cuales pasan a la solución.



▲ Fig. 12. Intercambio de cationes entre la solución del suelo y el complejo de cambio.

Cuando la planta absorbe cationes potasio y disminuye la concentración de éste en la solución del suelo, otros cationes potasio retenidos pasarán del complejo de cambio a la solución, con el fin de mantener el equilibrio.

Para que el intercambio de cationes se realice con facilidad en un suelo, es necesario que el número de cationes contenidos en la solución del suelo y en el complejo de cambio alcancen un cierto nivel, es decir, debe existir una concentración inicial de cationes. Así, en suelos empobrecidos es necesario realizar previamente aportaciones importantes de fertilizantes, cuyos cationes puedan ser adsorbidos por el complejo, con el fin de que las aportaciones posteriores, en cantidades menores sean más efectivas.

▼ **Variación de la Capacidad de intercambio con la textura**

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de un suelo, varía dependiendo de su porcentaje y tipo de arcilla y del contenido en materia orgánica que contenga. Como la arcilla es más abundante, es realmente la que mayor influencia tiene en la Capacidad de Intercambio.

Los valores medios de Capacidad de Intercambio de los suelos, según su textura, están en torno a:

- SUELOS ARENOSOS:	10 meq./100 g.
- SUELOS FRANCO:	15 meq./100 g.
- SUELOS ARCILLOSOS:	20 meq./100 g.

Una vez fijado el tipo de textura de un suelo, los valores de C.I.C. podrán subir o bajar según la cantidad de materia orgánica.

Valores por debajo de 5 meq./100 g., son muy bajos, indicando claramente que se trata de un suelo poco fértil. Por el contrario, valores cercanos a 30 meq./100 g., indican que nos encontramos ante un suelo excesivamente arcilloso o con un elevado contenido en materia orgánica, en el que existiría grave riesgo de asfixia radicular.

A mayor capacidad de intercambio catiónico en un suelo más difícil resulta "controlar" la nutrición del cultivo.

Esta capacidad amortiguadora, o "tampón", es difícilmente influenciada por el agricultor y, por consiguiente, representa una "barrera" natural cuando se quiere forzar un cultivo de forma que se pueda dominar, prácticamente, la fisiología de la planta directamente desde una nutrición programada.

▼ **Influencia del tipo de cationes adsorbidos**

Que un suelo tenga una alta C.I.C. no quiere decir que realmente tenga retenidos muchos cationes, sino que podría retenerlos. La suma de los cationes de cambio obtenidos en los análisis de suelo (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ ...), puede no coincidir con la C.I.C., lo que quiere decir que los lugares de intercambio de ese suelo no están ocupados totalmente.

El tipo de cationes que se encuentren adsorbidos en el complejo de cambio, indicará también ciertas propiedades del suelo:

– Si éstos son en su mayoría, Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio (llamados “bases”), al liberarse a la solución del suelo dan a éste un carácter básico o alcalino, es decir, de pH mayor a siete (Ver punto 2 de este capítulo).

– Sin embargo, si existe cierta cantidad de H⁺, al liberarse dará a ese suelo un carácter ácido (pH menor de 7).

En la mayoría de nuestros suelos, los lugares de intercambio están ocupados por cationes de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio, por tanto serán de carácter básico.

La proporción de la C.I.C. ocupada por “bases” recibe el nombre de Porcentaje de Saturación de Bases (V) y se calcula:

$$V (\%) = \frac{(Ca+Mg+Na+K)}{C.I.C. \text{ total}} \times 100$$

Todo medido en meq/100 g

En los suelos básicos o alcalinos (la mayoría), el Porcentaje de Saturación por Bases se sitúa alrededor del 100%.

SATURACIÓN POR BASES

V (%)	Observaciones
Menor de 50	Suelo muy ácido; presentará dificultades en la nutrición de los cultivos; enmienda caliza.
50 - 90	Suelo medio; su riqueza dependerá del valor de la C.I.C. total.
Mayor de 90	Suelo saturado en bases, sus sedes de intercambio están siendo utilizadas. Su pH es neutro o básico.

2.2. Acidez o Alcalinidad del Suelo: pH

La acidez o alcalinidad de un suelo depende de la concentración en la solución del suelo de iones hidrógeno (H⁺). Su medida se denomina pH y su escala varía de 0 a 14, siendo el punto intermedio 7 donde encontramos la neutralidad, de 0 a 7 es pH ácido y de 7 a 14 pH alcalino. El pH no tiene unidades y para medirlo se utiliza el **pHmetro**, realizando la medición en medio líquido, utilizando un extracto líquido del suelo.

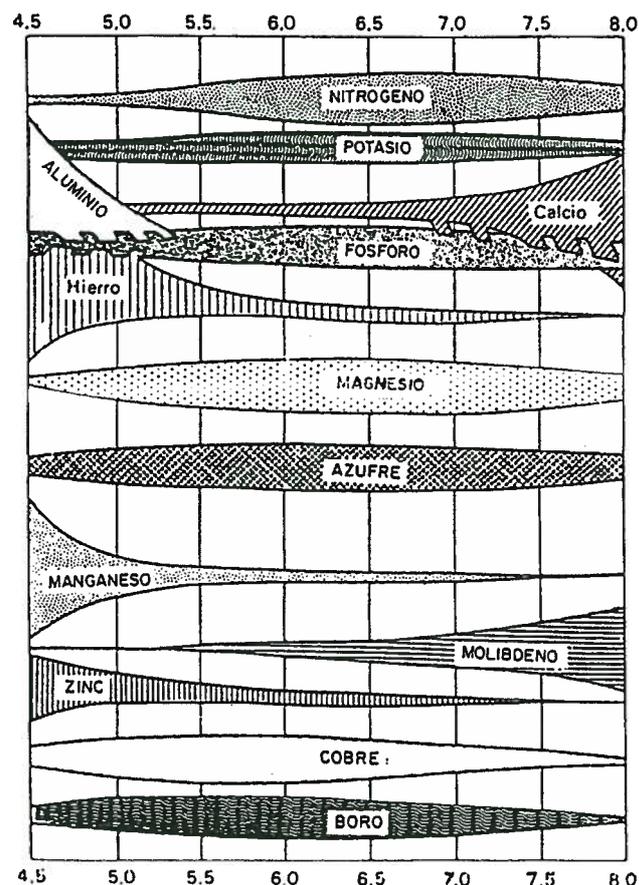
En la práctica el rango de valores que se presentan en los suelos oscila de 4 a 9 aproximadamente, siendo los valores más normales entre 5,5 y 8 y los niveles más deseados en general de 6,5 a 7.

Ya se ha comentado anteriormente la gran relación que existe entre el Porcentaje de Saturación en Bases y el pH de un suelo. Así, si los suelos retienen gran cantidad de cationes básicas (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+), el pH será básico o alcalino. Por el contrario, una mayor presencia de H^+ adsorbido en el complejo de cambio provoca una reacción del suelo ácida.

2.2.1. Importancia Agronómica del pH del Suelo

El principal problema que nos ofrece el pH del suelo en agricultura es que a determinado pH, hay elementos nutritivos del suelo que no pueden ser asimilados por las plantas al no estar disueltos en la solución del suelo.

En el siguiente diagrama vemos la influencia del pH en la disponibilidad de los nutrientes del suelo para poder ser absorbidos por la planta.



▲ Fig. 13. Disponibilidad de nutrientes en relación con el pH del suelo. Los elementos que se entrecruzan forman compuestos insolubles a ese pH, reduciendo la asimilación del fósforo (Soils Handbook).

Como puede observarse en el diagrama, cada elemento está representado por una banda horizontal, la cual se hace más ancha o estrecha a medida que varía el pH (líneas verticales). Cada uno de los elementos se encuentra disponible para la planta en el rango de

pH que corresponde a mayor anchura de banda y por el contrario, el pH señalado que corresponde a su parte más estrecha implica una menor disponibilidad del elemento.

En el caso del fósforo, podemos ver como a pH inferior a 5 puede formar compuestos insolubles de hierro y aluminio, mientras que a pH superior a 7,5 los forma con el calcio.

A pH básico, ciertos microelementos (Hierro, Manganeseo y Zinc, fundamentalmente) tienen dificultad para disolverse en la solución del suelo ya que forman complejos insolubles, por lo tanto es recomendable utilizar estos microelementos en forma de **quelatos**.

El quelato es un compuesto químico orgánico, que permite proteger al nutriente (hierro, zinc, manganeseo...) de su insolubilización provocada por el pH del suelo, permitiendo que permanezca soluble y por lo tanto asimilable por las raíces.

Para la elección del quelato es necesario tener en cuenta el pH del suelo; por ejemplo si lo que queremos es aportar un quelato de hierro, se logrará una mayor eficacia del elemento si utilizamos:

para suelos neutros y ácidos EDTA-Fe.
 para suelos básicos EDDHA-Fe.

En el siguiente cuadro se puede apreciar la reacción que tiene lugar entre el agente quelatante y las moléculas de hierro, obteniéndose así el quelato.



▲ Fig. 14. El agente quelatante protege al hierro y lo pone a disposición de la planta.

2.2.2. Corrección del pH de un Suelo

Corregir el pH de un suelo es bastante difícil ya que los suelos ofrecen, en general, bastante resistencia a variar su pH; es lo que se llama elevado **poder tampón** de un suelo.

No obstante, los suelos ácidos son más fáciles de corregir que los alcalinos. Para realizar este tipo de enmiendas es necesario contar previamente con un análisis completo de suelo, fundamentalmente para decidir los tipos y las cantidades de cada enmienda que se deben aportar y cómo fraccionarlas en el tiempo.

- **Suelos de pH ácido:** Generalmente la operación que se realiza para corregir la acidez es el **encalado**, recomendable cuando la acidez es menor de 6 aunque debemos tener especial cuidado en no realizar un sobreencalado del suelo que puede causar problemas importantes.

- **Suelos de pH alcalino:** Son los suelos más corrientes en Andalucía. Su corrección es lenta, más lenta cuanto más se tenga que bajar el pH. Hay que utilizar sales que tengan reacción ácida (azufre o sulfatos son los más utilizados) o ácidos directamente.

En fertirrigación, la mejor solución es aportar abonos de reacción ácida así como ácido nítrico y/o ácido fosfórico, de forma que la solución de riego tenga un pH final en torno a 5,5 - 6, buscando un pH aceptable al menos en el volumen ocupado por el bulbo húmedo.

2.3. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es la medida de la cantidad de sales disueltas que hay en una solución. En nuestro caso esta solución puede ser el agua de riego, la solución del suelo o la solución nutritiva. Se puede considerar también como otra forma de expresar la concentración salina (g/l).

Este sistema de medida se basa en la facilidad con que pasa la corriente eléctrica a través de un líquido: a mayor cantidad de sales disueltas, mayor facilidad de paso y por tanto, mayor conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica del suelo no se mide directamente en el suelo. Se prepara un extracto saturado que se asemeja a la solución del suelo. Para su medida empleamos el **Conductímetro**.

La conductividad eléctrica se suele expresar a una temperatura de 25° C (se emplearán tablas de corrección cuando la temperatura sea diferente a ésta y el aparato no la corrija), actualmente la mayoría de los conductímetros ya la dan corregida; para una misma agua la conductividad eléctrica aumenta con la temperatura.

Unidades de medida:

Milimho por centímetro	–	mmho/cm
Micromho por centímetro	–	µmho/cm
MiliSiemens por centímetro	–	mS/cm
DeciSiemens por metro	–	dS/m

Para pasar de una unidad a otra debemos saber que:

1 mmho/cm	=	1.000	µmho/cm
1 mmho/cm	=	1	mS/cm = 1dS/m

Si queremos saber un valor **aproximado** de la concentración de sales de una solución, podemos utilizar un factor que varía según el tipo de sales que haya en la solución. El más empleado suele ser **0,64** y su equivalente es:

$$1\text{mS/cm} = 1\text{ mmho/cm} \Rightarrow 0,64\text{ gr/l.}$$

Este factor habría que calcularlo para cada disolución en concreto, si se quiere dar con exactitud.

2.3.1. Salinidad del Suelo

Se habla de salinidad cuando existe una concentración excesiva de sales en la solución del suelo. La salinidad se traduce en una menor producción e incluso en la imposibilidad de cultivar determinadas especies.

▼ Origen de la Salinidad:

- Constitución geológica del terreno, actividad volcánica...
- Empleo de aguas salinas para el riego.
 - En zonas lluviosas se produce un lavado natural de sales.
 - En zonas áridas (como lo es en general Andalucía) no siempre se produce el lavado deseado.

- Manejo incorrecto y aporte en exceso de fertilizantes minerales.

▼ Movimiento de las sales en el suelo:

Cuando nuestro suelo tiene unas buenas condiciones estructurales que le permiten tener una buena permeabilidad y drenaje, podemos recurrir al lavado de sales, para ello es necesario aportar una cantidad de agua de riego superior a las necesidades del cultivo (ETc); es lo que llamamos **fracción de lavado**.

Para proceder a un lavado es preciso conocer el perfil del suelo, ver su profundidad y la posible existencia de capas impermeables que impidan el lavado.

Los fenómenos de transpiración de las plantas y de evaporación directa desde la superficie del suelo puede provocar un incremento de la concentración de sales en las capas superiores debido al ascenso capilar del agua y el consiguiente arrastre de sales hacia arriba. Para atenuar este fenómeno se pueden utilizar diferentes acolchados: arena, plástico negro, tejido sintético de plástico...

Clasificación de suelos	
Clase	C.E. en extracto saturado
1. Ligeramente salino	2 - 4 mmhos cm
2. Medianamente salino	4 - 8 mmhos cm
3. Fuertemente salino	8 - 16 mmhos cm
4. Extremadamente salino	> 16 mmhos cm

▼ Problemas del exceso de sales:

Los daños que se pueden ocasionar por un exceso de sales podemos diferenciarlos en:

a) Los ocasionados a la planta

- Directos

Producidos por la **fitotoxicidad** de algunos iones (cloro, sodio, etc.), que se manifiestan cuando están en exceso, ocasionando en la planta clorosis, muerte de los tejidos y otras alteraciones.

- *Indirectos*

Disminuyendo la cantidad de agua disponible para el cultivo, debido al efecto osmótico de retención de agua que provocan las sales de la solución del suelo, presentando la planta los mismos síntomas que cuando padecen sed.

b) Los producidos en el terreno

Puede influir negativamente sobre las propiedades físicas del suelo. Tal es el caso del exceso de Sodio (Na), que ocasiona una baja permeabilidad del suelo haciendo que éste se apelmace y pierda su estructura, al dispersar las partículas del suelo. Cuando un suelo llega a esta situación extrema, los cultivos se van a encontrar con problemas de difícil y costosa solución. Todos estos problemas se pueden agravar por un exceso y mala elección de los abonos, mal manejo del suelo, riego y las labores, etc.

▼ **Cómo prevenir los problemas de salinidad:**

- Conociendo el tipo de suelo y su composición.
- Sabiendo la calidad del agua de riego.
- Emplear aguas de mejor calidad cuando sea posible.
- Enarenar o controlar la humedad del suelo para que la concentración de sales de la solución del mismo no rebase límites peligrosos.
- Empleando volúmenes de agua de riego superiores a las necesidades de la planta para hacer un buen lavado.
- Asegurar un buen drenaje del terreno.
- Elección de cultivos de mayor tolerancia.
- El aporte de materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo y por lo tanto su permeabilidad.
- Si el exceso es de sodio, utilizar mejoradores como el azufre, yeso, etc.
- No emplear abonos que aumenten la salinidad que ya tiene el terreno, teniendo en cuenta que los iones que más aumentan la salinidad son los más solubles: Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻...
- Aprovechar el agua de lluvia para realizar lavados del perfil.
- Dar riegos de lavado al finalizar cada ciclo de cultivo.

2.4. El Sodio en el Suelo

Ya hemos mencionado los problemas que plantea el sodio cuando se presenta en exceso en los suelos. En efecto, el sodio es un elemento dispersante en el suelo, rompe la estructura del suelo, los agregados, de tal forma que puede llegar a formarse una capa impermeable ya que los poros del suelo van taponándose.

Los suelos sódicos son suelos asfixiantes, y generalmente tienen un pH superior a 8,5, suelen tener colores oscuros dada la dispersión de las arcillas y la materia orgánica.

La cantidad de sodio que tiene un suelo se mide por el **Porcentaje de Sodio Intercambiable (P.S.I.):**

En el Complejo de Cambio:

$$\text{P.S.I. (\%)} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}} \times 100$$

El valor del PSI debe ser lo más bajo posible, aunque se consideran aceptables valores por debajo del 10%. En todo caso, hay que evitar que este índice se aproxime al 15% ya que a partir de este valor el suelo se considera suelo sódico o salino-sódico y presenta grandes problemas de permeabilidad, asfixiante y muy difícil de recuperar.

Para poder recuperar los suelos sódicos, lo primero que hay que hacer es desplazar al sodio del complejo de cambio y después, lavarlo.

Como ya hemos visto el Ca^{++} es el ión mejor para desplazar al sodio, de forma que en suelos con poco calcio se aplica **yeso (Sulfato de Calcio)** y el calcio desplaza al sodio, y éste se lava.

En suelos calizos (alto contenido en calcio), se puede incorporar azufre directamente al suelo o bien, ácido sulfúrico en el riego, consiguiendo de esta forma el mismo efecto que si se aportara yeso. Posteriormente se procede al lavado para eliminar el sodio desplazado.

Existen distintos productos comerciales recomendados en condiciones de salinidad a base fundamentalmente de calcio y ácidos húmicos, cuyo objeto es desplazar al sodio y agregar el suelo para permitir su lavado.

3. Propiedades Biológicas

El suelo no es un medio estéril sino que en él viven una serie de organismos que desarrollan una intensa y compleja actividad biológica. Estos organismos son muy variados, desde microorganismos microscópicos hasta animales superiores, y los hay beneficiosos y perjudiciales para las plantas.

Dentro del grupo de los microorganismos predominan las **bacterias** y los **hongos**. Este grupo es el más importante porque es responsable de muchos procesos químicos del suelo como los siguientes:

- **Humificación y Mineralización:** es la descomposición de la materia orgánica, transformándola en humus y minerales que pueden servir de nutrientes para las plantas.
- **Amonificación y nitrificación:** ciertas bacterias son responsables de la transformación del nitrógeno orgánico en amonio y de éste en nitrato, que es la forma en que la planta lo toma. Este proceso es muy importante porque si no es correcto, el amonio se acumula en el suelo y puede resultar tóxico para las raíces. En él intervienen varios factores: pH, temperatura, humedad, aireación...
- **Micorrizas:** algunos hongos pueden asociarse con las raíces de las plantas y aumentar su capacidad para absorber agua y nutrientes.
- **Fijación de nitrógeno:** algunas bacterias son capaces de fijar el nitrógeno del aire en el suelo, poniéndolo a disposición de las plantas.

También hay hongos y bacterias perjudiciales porque parasitan a las plantas causándole graves enfermedades. Estos microorganismos tienen a su vez enemigos naturales en otros microorganismos que los parasitan y causan su muerte, convirtiéndose en aliados de la planta.

La fauna del suelo es también muy variable. Nos podemos encontrar organismos casi microscópicos como nematodos, organismos de mayor tamaño como lombrices e insectos y animales superiores como reptiles o roedores. Igualmente los hay beneficiosos y perjudiciales. Los nematodos son parásitos de las plantas, pero otros como las lombrices mejoran la estructura del suelo y ayudan a descomponer la materia orgánica.

Como se ve, la actividad biológica del suelo es muy compleja porque los organismos interactúan entre ellos y con la planta, conviviendo aquellos que son beneficiosos con los perjudiciales. En horticultura intensiva es frecuente que la población de microorganismos perjudiciales sea elevada, por lo que en ciertos momentos se hace necesario una desinfección del suelo. Una desinfección química severa tiene el gran inconveniente de que no sólo elimina el microorganismo patógeno sino también todos los demás. De ahí el éxito de otros sistemas de desinfección como la solarización que controlan la población de microorganismos perjudiciales pero sin eliminar a los beneficiosos, consiguiéndose excelentes resultados.

4. Análisis de Suelos

4.1. Justificación de los Análisis de Suelos

Los análisis de suelos proporcionan información sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas (en su caso) de los suelos, constituyendo una herramienta necesaria para un correcto manejo de los cultivos.

La introducción de métodos de producción intensivos conduce, en ocasiones, a un uso indiscriminado y generalmente abusivo de los factores de producción (agua, fertilizantes, suelo, etc) en un afán productivista a corto plazo pero nefasto para el crecimiento sostenible e incluso para la viabilidad futura de la propia explotación agrícola.

Podemos considerar que la utilidad de los análisis de suelos se basa en cuatro razones fundamentales:

Aportar la dosis adecuada de fertilizantes. Esto normalmente se traduce en un ahorro de fertilizantes, ya que en general la filosofía del agricultor es “más vale que sobre...”. A su vez esto significa un ahorro económico y, lo que es más importante, una reducción del impacto ambiental, evitando la acumulación y contaminación innecesaria que provoca el exceso de abonos.

- **Evitar deficiencias** por falta de un nutriente en concreto o por desequilibrios, lo que puede traducirse como “más vale prevenir...”.

- **Aumentar la productividad y la calidad** de las cosechas, como consecuencia de una fertilización ajustada y equilibrada.

- **Aumentar la rentabilidad**, derivada del ahorro de fertilizantes y de la mayor productividad.

Vamos a diferenciar varias fases ante la realización de un análisis de suelo:

- Toma de muestras en campo.
- Determinaciones analíticas en laboratorio.
- Interpretación de resultados.
- Elaboración de recomendaciones a la vista de los resultados.

4.2. Toma de Muestras en Campo

La toma de muestras es la parte más importante y la más difícil en el análisis de suelos. El 70% de los errores de análisis cometidos se deben a la toma errónea de la muestra. El análisis de una muestra mal tomada no tiene ningún valor, sino el de inducir una fertilización equivocada con consecuencias de gravedad variable.

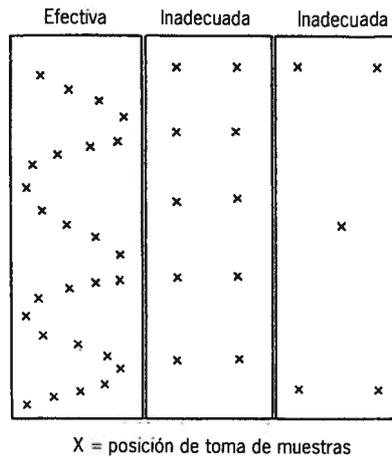
Para que una muestra sea útil debe ser representativa de la parcela a analizar. Para ello se deben seguir las siguientes normas:

1. La muestra que se lleva al laboratorio consiste en una cantidad de tierra, recogida en una parcela que se aprecie **homogénea**, es decir que esté formada por el mismo tipo de suelo.

2. La muestra final estará formada por **varias submuestras**, que se tomarán al **azar** en toda la superficie de la parcela. El número de estas submuestras es variable, depen-

diendo de la superficie. Orientativamente, se considera adecuado de 15 a 20 submuestras para parcelas entre 5.000 y 10.000 m².

3. Forma de muestrear: Se tomarán las submuestras distribuyéndolas en **zig-zag** por toda la parcela, evitando muestrear en zonas cercanas a pasillos o bandas, en el caso de invernaderos.

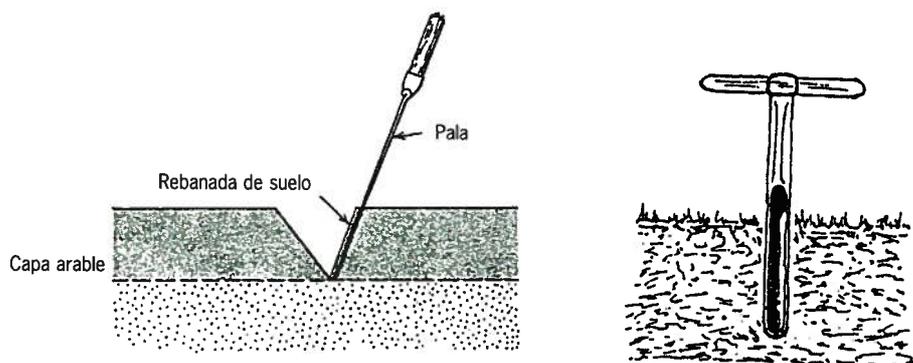


▲ Fig. 15. Forma de muestrear.

En riego por goteo, cada submuestra se recoge de un punto situado entre el gotero y la planta, en un entorno de unos 10 - 15 cm del gotero, no situándose ni debajo de éste (zona muy lavada) ni en los bordes del bulbo húmedo (frente salino). Se extrae una porción de suelo en forma vertical, unos 10 o 12 cm, que es la zona de profundidad media de las raíces, no incluyendo la arena, en caso de tratarse de enarenado. Si la profundidad de suelo explorado por las raíces fuese mayor, habrá que profundizar más en la toma de muestras.

La obtención de estas submuestras se puede realizar de diversas formas:

– Por medio de pala o azadón se cava un hoyo de unos 20 cm de profundidad y se corta una “rebanada” del lateral del hoyo. La parte central de la rebanada se pasa a la bolsa de muestra.



▲ Fig. 16. Instrumentos utilizados para la toma de muestras.

– Por medio de una barrena o taladro, consistente en un tubo cilíndrico de 100 a 120 cm de longitud, cuya parte inferior (20 cm) tiene forma de media caña terminada en punta. Se introduce en el suelo y por rotación sobre su eje permite extraer una porción de 10 a 20 cm que queda en la media caña, pasándola a continuación a la bolsa de muestra.

Una vez obtenidas todas las submuestras se mezclan bien, rompiendo los terrones y tirando las piedras de mayor tamaño. De esta mezcla se toma aproximadamente 1Kg. de suelo que se pone en una bolsa limpia y que finalmente se llevará al laboratorio.

4.3. Tipos de Análisis de Suelo. Objetivos e Interpretación

4.3.1. Análisis Físico

Se determina la **textura** del suelo y se clasifica según este parámetro. La textura puede expresarse en el análisis de diversas formas:

- En porcentajes de arena, limo y arcilla de ese suelo.
- Con su denominación, determinada según el triángulo de texturas. (Ej: Franco arcilloso).
- Determinando el porcentaje de saturación (**PS**), que da una idea de que tipo de suelo se trata.

Teniendo en cuenta este último parámetro (**PS**) los valores que se consideran son:

Tipo de suelo	PS mínimo %	PS medio %
Suelos de textura gruesa (arenosos).	16	30
Suelos Francos.	26	42
Suelos de textura fina (arcillosos).	42	59

4.3.2. Análisis Químico

Existen dos partes fundamentales de un análisis químico, aunque dependiendo de los objetivos que se persigan, se pueden realizar los dos o únicamente alguno de estos análisis:

- **Análisis de fertilidad.**
- **Análisis de extracto saturado.**

La interpretación de los análisis debe realizarse con asesoramiento técnico y basarse, no únicamente en los valores individuales de los elementos analizados, sino también en las relaciones entre ellos, así como en la observación en campo de los cultivos, teniendo en cuenta la fertilización que se está realizando en el momento de la toma de muestras y la calidad del agua de riego utilizada. Un análisis de suelo debe interpretarse como algo global.

La interpretación del análisis se realiza por medio de tablas de interpretación para cada elemento, que se usarán para tener los valores de referencia que nos permitan interpretar los resultados del análisis. Dichas tablas de interpretación pueden ser variables según el tipo de métodos analíticos utilizados, y a su vez en cada zona los distintos laboratorios pueden ajustar los valores de referencia de acuerdo a las características de los suelos, aguas e incluso experiencia en los cultivos de la zona. En definitiva, no existen unos valores únicos y universales para la interpretación de datos.

Los valores que damos a continuación son los más utilizados en cultivos intensivos bajo invernadero en Almería, por lo que en otras zonas se pueden matizar de acuerdo a criterios técnicos justificados.

▼ **Análisis de fertilidad**

Se realiza con objeto de:

- Detectar algún **desequilibrio nutricional**.
- **Conocer la fertilidad del suelo** cuando no se tienen datos, de anteriores análisis, es decir, cuando no se conoce bien el suelo, cuando éste se aporta nuevo, o por la adquisición de una finca, etc.
- **Cálculo de abonado de fondo**.
- **Optimizar el manejo de la fertilización** de cobertera.

Pueden determinarse bastantes parámetros, pero los de mayor importancia son:

- Materia orgánica total.
- Carbono orgánico.
- Nitrógeno total.
- Nitrógeno nítrico.
- Fósforo.
- Cationes de cambio.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Carbonatos totales.
- Caliza activa.

• **Materia orgánica total** - Valores en %.

Bajo	Normal	Alto
Menor de 1,5%	1,5 % - 2,5%	Mayor de 2,5%

• **Carbono Orgánico** - Valores en %.

Bajo	Normal	Alto
Menor de 0,9	0,9 - 1,5	Mayor de 1,5

- **Nitrógeno total** - Valores en %.

Bajo	Normal	Alto
Menor de 0,1	0,11 - 0,2	Mayor de 0,21

- **Nitrógeno nítrico** - Expresado en “partes por millón” (ppm).

Muy bajo	Bajo	Normal	Alto
Menor de 10	10 - 20	20 - 30	Mayor de 30

- **Fósforo** - Expresado en ppm.

Textura	Regadío Extensivo		
	Bajo	Normal	Alto
TEXTURA GRUESA O MEDIA	Menor de 15	15 - 25	Mayor de 25
TEXTURA FINA	Menor de 20	20 - 30	Mayor de 30

Textura	Regadío Intensivo		
	Bajo	Normal	Alto
TEXTURA GRUESA O MEDIA	Menor de 35	35 - 70	Mayor de 70
TEXTURA FINA	Menor de 20	20 - 40	Mayor de 40

- **Cationes de cambio**

Se determinan en este análisis, los cationes que se encuentran fijados en el complejo arcillo-húmico del suelo y son intercambiables con los que se encuentran en la solución del suelo. Son como una reserva de nutrientes.

La suma de estos cationes es también útil para otras determinaciones. Sus resultados se expresan en miliequivalentes por 100 gramos (meq/100 gr), o bien en ppm o en tanto por cien de la suma de cationes.

En las siguientes tablas, se expresan en meq/100 gr.

• **Calcio**

Textura	Bajo	Normal	Alto
TEXTURA GRUESA	Menor de 4,8	4,8 - 9,6	Mayor de 9,6
TEXTURA MEDIA	Menor de 6	6 - 12	Mayor de 12
TEXTURA FINA	Menor de 7,2	7,2 - 14,4	Mayor de 14,4

Su valor en porcentaje debe suponer entre el **50%** y el **80%** de la suma de cationes.

• **Magnesio**

Textura	Bajo	Normal	Alto
TEXTURA GRUESA Y MEDIA	Menor de 1,25	1,25 - 3	Mayor de 3
TEXTURA FINA	Menor de 1,50	1,50 - 3,60	Mayor de 3,60

Su valor en porcentaje debe suponer entre el **10%** y el **20%** de la suma de cationes.

• **Potasio**

Textura	Regadío Extensivo		
	Bajo	Normal	Alto
TEXTURA GRUESA	Menor de 0,4	0,4 - 0,6	Mayor de 0,6
TEXTURA MEDIA	Menor de 0,5	0,5 - 0,75	Mayor de 0,75
TEXTURA FINA	Menor de 0,6	0,6 - 0,9	Mayor de 0,9

Textura	Regadío Intensivo		
	Bajo	Normal	Alto
TEXTURA GRUESA	Menor de 0,25	0,25 - 0,5	Mayor de 0,5
TEXTURA MEDIA	Menor de 0,4	0,4 - 0,7	Mayor de 0,7
TEXTURA FINA	Menor de 0,5	0,5 - 1,02	Mayor de 1,02

Su porcentaje debe ser del **2%** al **12%** de la suma de cationes, siendo su óptimo alrededor del **5%**.

- **Sodio**

Normal	Alto
Menor de 1	Mayor de 1

Su valor en porcentaje debe ser menor del **10%** de la suma de cationes.

- **Relaciones en el complejo de cambio** - meq/100 gr -.

Relación K/Mg: Óptimo= 0,5
 Deficiencia de magnesio: K/Mg > 0,5
 Deficiencia de potasio: K/Mg < 0,2

Relación Ca/Mg: Óptimo= 5
 Deficiencia de calcio: Ca/Mg < 1
 Deficiencia de magnesio: Ca/Mg > 10

- **Capacidad de intercambio catiónico** - En meq/100 gr -.

Suelos arenosos Menor de 10
 Suelos francos De 10 a 20
 Suelos arcillosos Mayor de 20

- **Carbonatos totales** - En %.

Bajo	Normal	Alto
Menor de 10	10 - 25	Mayor de 25

• **Caliza activa** - En %.

Normal	Alta	Muy alta
Menor de 6	6,1 - 9	Mayor de 9,1

▼ **Análisis de extracto saturado**

En él se determinan los elementos que se encuentran en la solución del suelo, a disposición de la planta, así como el pH y conductividad eléctrica del suelo.

Los objetivos de este tipo de análisis son:

- **Control de la salinidad** en suelos con esta problemática, bien debido al propio carácter salino del suelo o bien a la utilización de aguas salinas.
- **Manejo adecuado de la fertilización del cultivo.**
- **Detectar algún desequilibrio nutricional.**

Se determinan en primer lugar, pH y conductividad eléctrica, que se pueden interpretar de acuerdo a los siguientes valores:

Clasificación de los suelos según su pH:

Tipo de suelo	Valor de pH
Muy ácido	Menor de 5,5
Ácido	5,6 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,5
Alcalino	7,6 - 8,5
Muy alcalino	Mayor de 8,6

Clasificación de los suelos según la CE en el extracto saturado:

Tipo de suelo	CE en mS/cm
Suelo no salino	0-2
Suelo ligeramente salino	2-4
Suelo moderadamente salino	4-8
Suelo fuertemente salino	8-16
Suelo muy fuertemente salino	> 16

Las determinaciones de elementos que se realizan y los valores de referencia son los siguientes, expresados en meq/l:

	Bajo	Medio	Alto
Calcio	1-10	10-60	>60
Magnesio	0,2-5	5-30	>30
Sodio	0,1-3,5	3,5-15	>15
Potasio	0-0,9	0,9-5	>5
Boro (ppm)	0,1-0,5	0,5-1	>1
Nitratos	0-2	2-6	>6
Cloruros	0,2-5	5-15	15-25
Sulfatos	10-20	20-30	>30
Bicarbonatos	0,1-2,5	2,5-5	>5

Igualmente, son importantes las relaciones entre elementos. A continuación se muestran los óptimos (expresando las cantidades de cada elemento en meq/l):

Relación K/Mg:	0,25
Relación K/Ca:	0,17
Relación Ca/Mg:	1,55
Relación N/K:	2,2 - 2,5
Relación de Adsorción de Sodio (SAR) (Cuanto más bajo sea, mejor)	
	Bajo 0 - 6
	Medio 6 -10
	Alto Mayor de 10

5. Técnicas de Manejo de Suelos

5.1. Laboreo

Para que el suelo adquiriera una estructura adecuada, es preciso recurrir al laboreo, que consiste en remover, mediante aperos adecuados, una banda de tierra de profundidad y anchura variable.

5.1.1. Objetivos del Laboreo

El laboreo del suelo tiene por objetivo fundamental conseguir una estructura adecuada para que las plantas nazcan y se desarrollen en las mejores condiciones posibles.

Con el laboreo se pretende también otros objetivos muy importantes:

- Destrucción de malas hierbas.
- Enterrado de residuos de cosechas y abonos.
- Control del agua del suelo.
- Control de la temperatura del suelo.
- Aireación del suelo.

5.1.2. Labores Preparatorias

Las labores preparatorias son aquellas que preparan el suelo para la siembra o para la plantación. Éstas suelen ser:

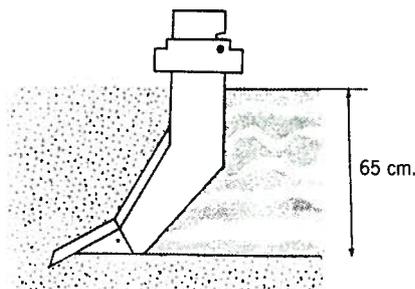
▼ **Labores principales.** Algunas son ocasionales, en las que se trabaja el suelo, con volteo o sin él, a una profundidad superior a los 15 cm. (subsulado, desfonde); otras se realizan normalmente todos los años, (labor de vertedera, de arado de discos).

▼ **Labores complementarias.** Se trabaja el suelo, con volteo o sin él, a una profundidad inferior a los 15 cm. (gradeo, labor de cultivador, rodillo, fresadora).

• **Labores principales ocasionales.**

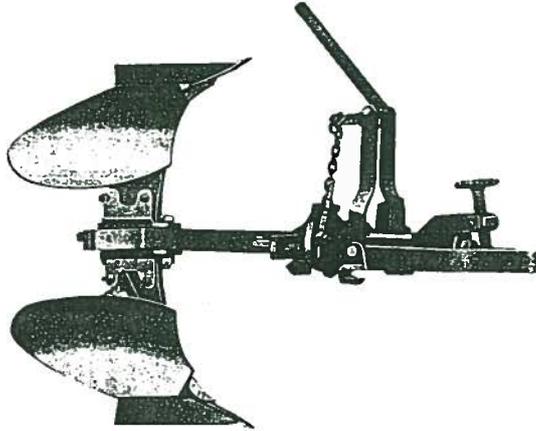
Se realizan ocasionalmente y sólo en determinado tipo de suelos y de cultivos.

– **Subsolado.** Consiste en resquebrajar las capas profundas del terreno, sin voltearlas, con el fin de que el agua y las raíces a una profundidad de 50 cm. o más, por lo que se precisa un gran esfuerzo de tracción.



▲ Fig. 17. Subsolador.

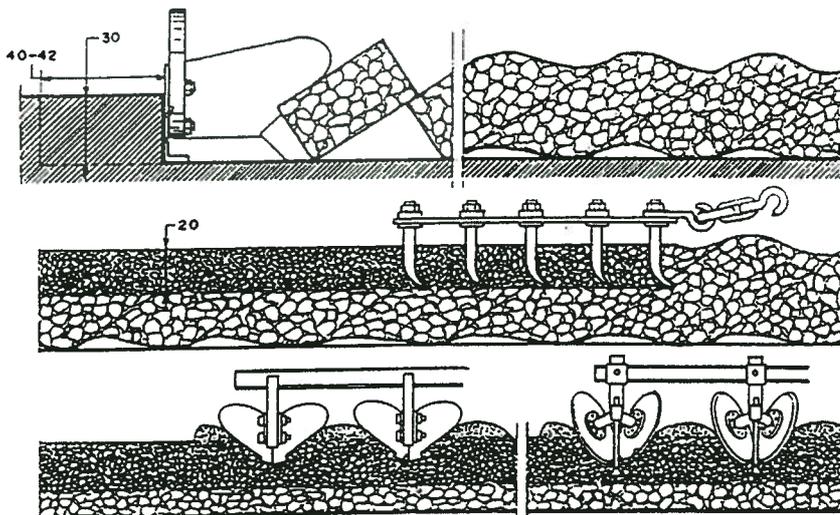
– **Desfonde.** Consiste en remover y voltear la tierra a una profundidad superior a los 35 cm. Se realiza con arados de vertedera muy robustos y se requiere un gran esfuerzo de tracción.



▲ Fig. 18. Vertedera.

Facilita el enraizamiento de las plantas de raíz profunda, pero tiene el inconveniente de que afloran a la superficie capas de suelo no removidas anteriormente y meteorizadas, con empobrecimiento del suelo superficial.

No tiene justificación practicar esta labor tan costosa en los cultivos herbáceos, pues para conservar el agua del suelo, bastan las labores superficiales, que resultan menos costosas.



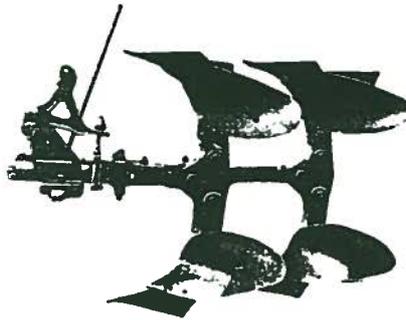
▲ Fig. 19. Acción de diversos aperos sobre el suelo.

• **Labores principales ordinarias.**

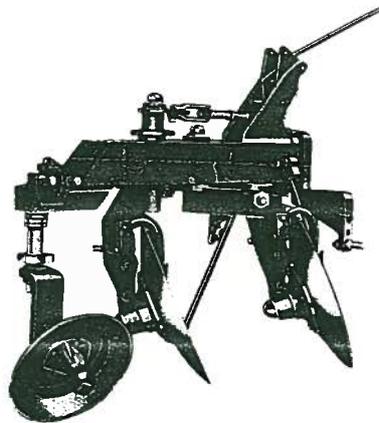
Son aquellas labores que remueven y voltean una capa de tierra de 20 a 30 cm. de espesor. Se emplea para alzar rastrojos en cultivos de secano.

En cuanto a la profundidad de la labor, la opinión más generalizada es que los beneficios obtenidos por un aumento de profundidad no compensan económicamente.

Se utilizan el arado de vertedera y el de discos.



▲ Fig. 20. Arado de vertedera.



▲ Fig. 21. Arado de discos.

• **Labores complementarias.**

Tienen por misión completar la labor de los arados de vertedera y de discos, con el fin de que la tierra quede preparada para la siembra.

Los objetivos principales son:

- Desmenuzar los terrones.
- Mullir la capa superficial que ha de servir de asiento a la semilla.
- Destruir las malas hierbas.
- Reducir la evaporación del agua.
- Nivelar la tierra para que la siembra se haga con uniformidad.

Para dejar el terreno en buenas condiciones de siembra se debe confiar más en la calidad y oportunidad de las labores complementarias, que en el número de ellas.

Los aperos más empleados para hacer las labores complementarias son: Arado Cíncel, Cultivador, Grada de discos, Rodillo, Fresadora, Alomadores, etc.

5.1.3. Maquinaria

El arado clásico, con inversión de las capas del suelo, es con mucho el apero más representativo de todos los equipos de labranza. Es por otro lado, una especie de símbolo, ya que se ha venido utilizando a lo largo de muchas generaciones como apero imprescindible para trabajar la tierra.

▼ Arado de Vertedera

Este arado corta y voltea una banda de tierra, la cual queda más o menos disgregada y adosada a la banda volteada en la pasada anterior. El grado de disgregación de la banda de tierra depende de varios factores, tales como el tipo de suelo, humedad del terreno, curvatura de la vertedera, etc.

Cuando la tierra vaya a permanecer arada durante el invierno conviene que el suelo quede aterronado.

Cuando la labor de vertedera se realiza en primavera o cuando se ha de sembrar inmediatamente, conviene que la tierra quede lo más disgregada posible.

Es un apero que necesita gran esfuerzo de tracción, dependiendo del número de cuerpos de arado de que conste.



▲ Fig. 22. Trabajo de un arado de vertedera de dos cuerpos.

▼ Arado de discos

El arado de discos presenta, con respecto al arado de vertedera, las siguientes ventajas:

– Tiene la posibilidad de rodar sobre los obstáculos sin trabar en ellos, por lo que se reduce el riesgo de rotura.

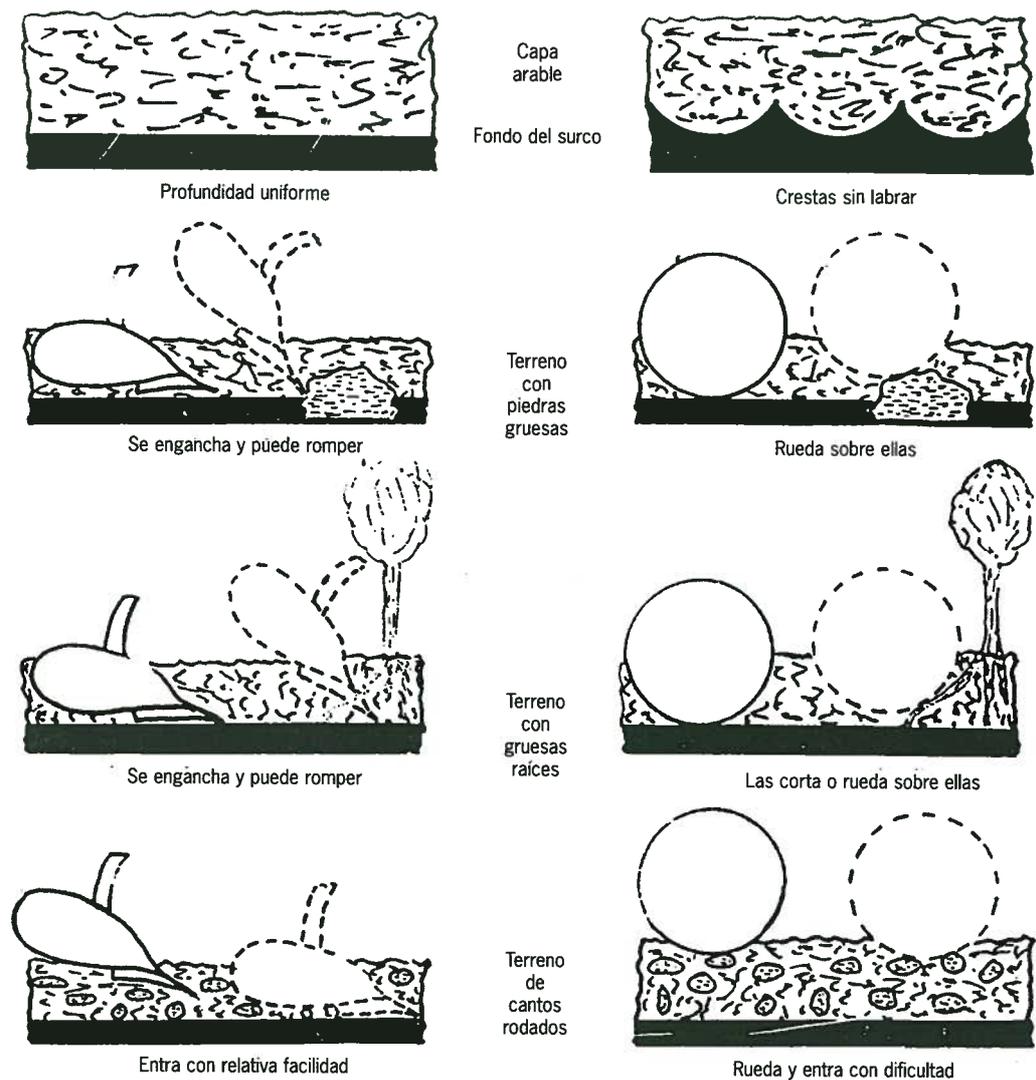
– En tierra seca realizar un mejor mullido del suelo.

– La vertedera se desgasta mucho en la punta, mientras que el disco, al repartir el rozamiento por todo el borde, se desgasta mucho menos.

En cambio, el arado de discos presenta, con respecto al de vertedera, los siguientes inconvenientes:

– No realiza la gama de labores que la vertedera. La forma de trabajar y el raspador del disco hacen que la tanda de tierra removida quede muy disgregada, lo cual corresponde solamente a una de las labores realizadas por la vertedera.

– Cuando la humedad es excesiva, la labor del disco es contraproducente, ya que deja la superficie del suelo muy moldeada, y cuando se seca quedan unos terrones muy duros de difícil disgregación.



▲ Fig. 23. Comparación del arado de vertedera con el de discos respecto a labor y posibilidades.

En resumen, la labor del arado de discos no es tan buena como la del arado de vertedera, sobre todo en lo referente a la destrucción de malas hierbas. Tracción igual a lo referido en el de vertedera.

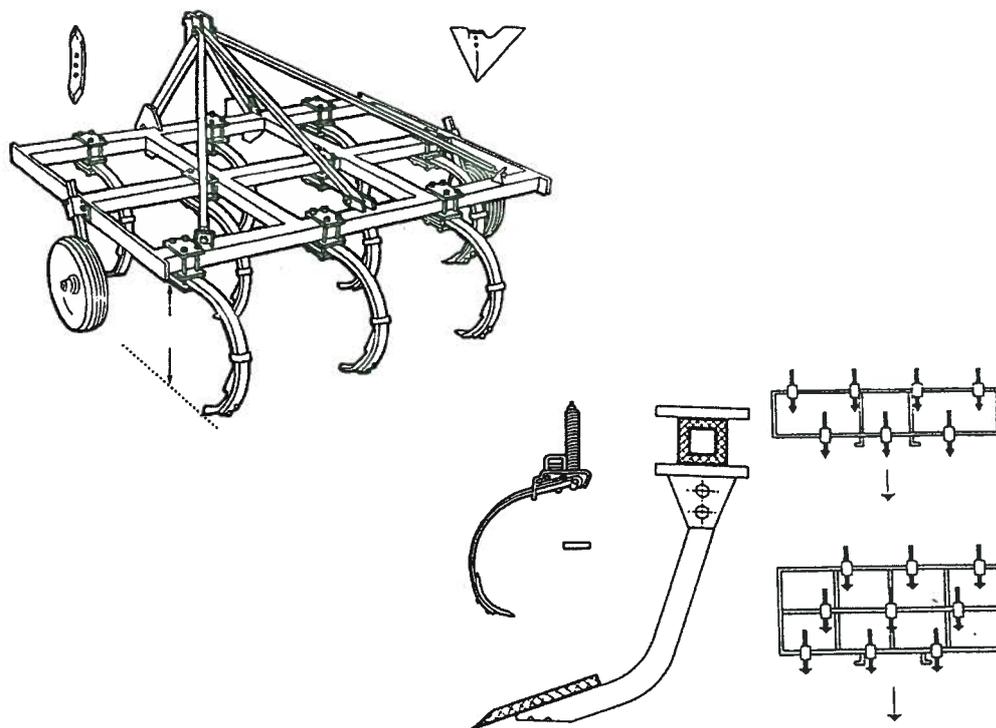
▼ **Arado cincel o chisel**

Este apero es un híbrido entre el cultivador y subsolador, con él se trabaja a una profundidad intermedia entre ambos. Actúa disgregando bandas de tierra de sección triangular, que al solaparse con las de los brazos contiguos dan lugar a una solera en forma de bóvedas sucesivas, pero sin formar suelo.

Puede trabajar el suelo aún cuando exista una gran cantidad de residuos superficiales, produciendo un efecto de enterrado del 30-35 % del existente en superficie. Básicamente existen dos tipos de arados cincel:

– **Brazo flexible:** Se trata de una serie de brazos curvados con una, dos o tres curvaturas. Una de las características de este apero es que los brazos se desplazan vibrando sobre el terreno, debido a las variaciones de resistencia que encuentra.

– **Brazo rígido:** Se compone de un conjunto de brazos rígidos acoplados al bastidor mediante un conjunto de resortes que actúan como elementos de seguridad. Dada su robustez, permite profundizar en terrenos duros más que el brazo flexible.



▲ Fig. 24. Elementos y forma de trabajo de un arado cincel.

Referente a las rejas que utilizan estos aperos, básicamente, existen tres grupos:

– **Estrecha.** Su anchura es de 55 a 70 mm.

– **Ancha o con alas.** En forma de cola de golondrina, con una anchura entre puntos de hasta 20 cm.

– **Formon.** Se usa en chisel de brazos rígidos. La finalidad es la de romper la tierra cuando se encuentra seca. Es un apero que necesita gran esfuerzo de tracción, dependiente del número de brazos de que conste.

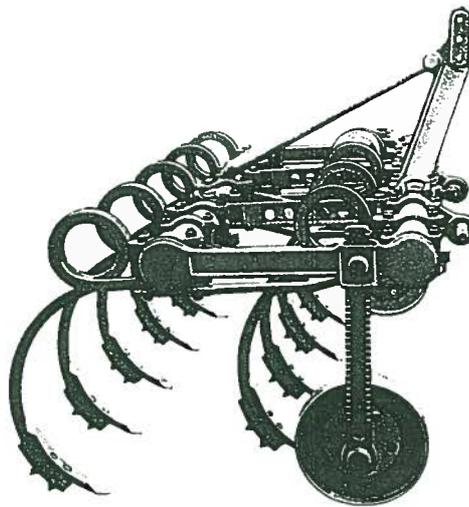
▼ **Cultivador**

Es un arado provisto de dientes que trabaja el suelo a poca profundidad.

No es el apero más adecuado para desmenuzar terrones, puesto que tiende a desplazarlos en el suelo. Sin embargo, trabajando con suelo seco y a una cierta velocidad se logra reducir su tamaño.

Se emplean diferentes tipos de dientes, que varían en cuanto al tamaño y al ángulo que forman con el suelo.

Es un apero medio en cuanto a necesidades de tracción, dependiendo del número de brazos de que conste.



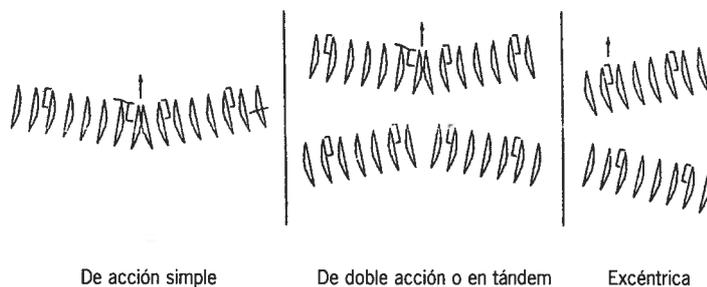
▲ Fig. 25. Cultivador.

▼ **Grada de discos**

Trabaja mejor que el cultivador en las operaciones de rotura de los terrones y nivelado del suelo.

La grada de discos produce un pequeño volteo de la tierra, por lo que se puede utilizar ventajosamente para destruir las malas hierbas y para la labor de desmenuzar y enterrar la paja de los rastrojos.

Este apero requiere una potencia de tracción mayor que el cultivador.



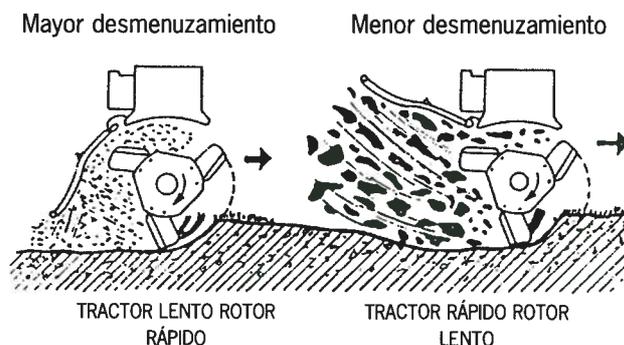
▲ Fig. 26. Tres tipos de gradas de discos según la colocación de sus juegos.

▼ Fresadora o rotocultor

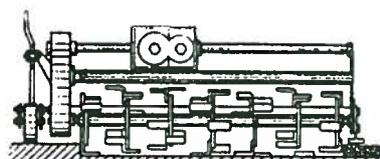
Es un apero provisto de unas cuchillas rotatorias que, accionada por la toma de fuerza del tractor, cortan y desmenuzan la tierra, efectuando de una sola pasada las labores de volteo y pulverización de la tierra.

La labor de fresadora deja el suelo excesivamente dividido, con perjuicio de la buena estructura del suelo. Da lugar a un oxidación muy intensa del humus, de tal modo que para mantener la fertilidad del suelo es preciso aportar mayor cantidad de materia orgánica. Por este motivo, la fresadora se utiliza casi exclusivamente en cultivos hortícolas donde está asegurada la aportación de materia orgánica.

Este apero requiere gran potencia de tracción, estando relacionado con el número de cuchillas que contenga y envergadura de ellas.



▲ Fig. 27. Trabajo de una fresadora.

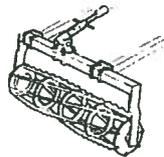


▲ Fig. 28. Vista frontal del trabajo de una fresadora.

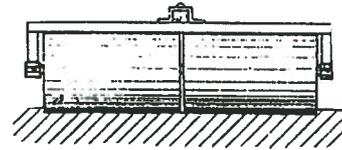
▼ Rodillo o rulo

La misión del rodillo consiste en asentar un suelo que haya quedado excesivamente mullido con labores anteriores. El rodillo se utilizará únicamente cuando el suelo esté muy esponjoso y relativamente seco. Los rodillos pueden ser de superficie lisa o rugosa. Los de superficie rugosa o acanalada se ajustan a las irregularidades del terreno y dejan una superficie más regular que los rodillos de superficie lisa.

Este apero no requiere gran potencia de tracción.



Rodillo jaula



▲ Fig. 29. Rodillos de superficie lisa y rugosa.

5.2. Enarenado

Parece oportuno iniciar el tema describiendo distintos sistemas o técnicas que normalmente se identifican con el término **enarenado**, introduciendo cierta confusión en la definición del mismo.

En primer lugar, se denominan **enarenados "naturales"** a los que se efectúan sobre suelos muy arenosos, en dunas de arena ("navazos" de Sanlúcar de Barrameda, Cádiz) o sobre arenas de origen volcánico (Canarias), con distintas proporciones de elementos gruesos. El espesor de la capa de arena es variable, pudiendo alcanzar 10 o 12 metros. Enarenados similares son los suelos de algunas zonas del Negev (Israel), donde hay una capa de arena sobre otros suelos.

El empleo de capas de arena es descrito como **enarenado artificial**, siendo empleado en la zona costera de Almería y Granada, así como en las Islas Canarias y otras zonas esporádicamente.

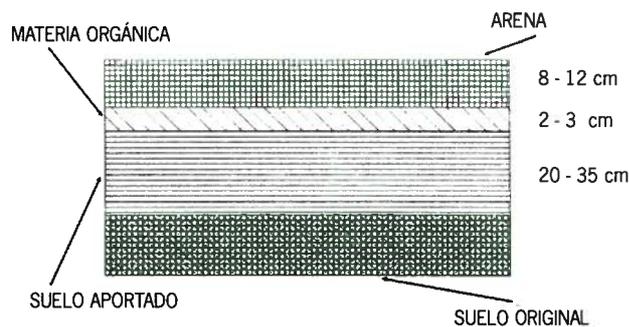
No existen estudios exhaustivos sobre las propiedades, comportamiento y manejo de ninguno de los dos tipos de enarenado por lo que vamos a pasar a describir algunos aspectos relativos a características y manejo en el enarenado artificial tipo almería que es el más utilizado en cultivos intensivos.

5.2.1. Descripción del Sistema Enarenado

El enarenado tradicional y más extendido en Almería consiste en instalar sobre el suelo original (normalmente de escasa fertilidad y/o con no muy buenas propiedades físico-químicas como salinidad, exceso de elementos gruesos, etc.) una capa de tierra de 20-30 cm. traída de cañadas o canteras de la zona, de textura franco-arcillosa e incluso arcillosa en muchos casos, con la intención, básicamente, de **mejorar la capacidad de retención de agua y nutrientes**.

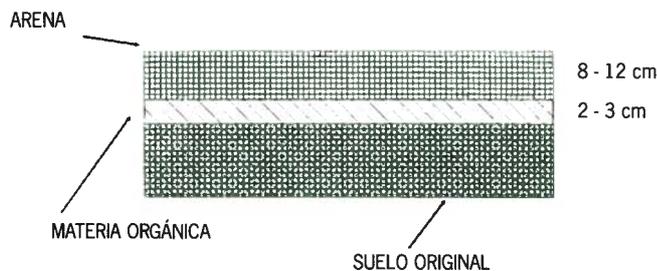
Sobre esta capa se incorpora materia orgánica, generalmente estiércol en dos fases: primeramente se incorporan unos 4-5 Kg./m² que se mezcla con la tierra con una labor de cultivador o fresadora, a continuación se incorporan otros 4-5 Kg./m² que se extienden sobre el suelo esta vez sin mezclar.

Por último sobre la capa de materia orgánica se aporta la arena, normalmente una capa de 8-10 cm. de granulometría variable, abarcando desde 0,2 mm hasta 6 mm. de diámetro. El tamaño que se considera más apropiado es el que vulgarmente se denomina "grano de arroz", o arrocera.



▲ Fig. 30. Enarenado Completo.

La versión que podríamos denominar como enarenado simple consiste en aprovechar el suelo natural, si éste se considera aceptable, y no aportar la capa de tierra, siendo el aporte de la materia orgánica y el de la arena, igual que en el anteriormente descrito.



▲ Fig. 31. Enarenado Simple.

Podemos resumir las siguientes etapas que pueden darse en la implantación de un enarenado:

1. Si existe una capa impermeable "lastra" es necesario romperla para permitir la infiltración y el drenaje del terreno mediante subsolador (uno o dos pases cruzados) e incluso con explosivos.
2. Despedregado, para retirar los elementos gruesos más voluminosos que pueden entorpecer las labores posteriores.
3. Nivelación en su caso y/o abancalado del terreno.
4. Aporte de tierra, si procede.

5. Aporte de estiércol, mitad mezclado y mitad “emparedado”.

6. Aporte de arena.

Las cuatro primeras fases pueden o no ser necesarias en función del tipo de terreno. Con respecto a la 5ª es decir, aporte de estiércol, se dan actualmente distintas posibilidades, de las que hablaremos en el apartado “Manejo y mantenimiento del enarenado”.

En lo que se refiere al aporte de arena es fundamental, cuando ésta precede de playa, que hasta ahora han sido la mayoría de los casos, que esté bien lavada antes de incorporarla ya que de no ser así las consecuencias tanto para el suelo sobre el que se asiente como para los primeros cultivos (hasta que no se consiga lavar) pueden ser fatales.

La arena debe estar limpia ya que si está mezclada con partículas más finas, de arcilla o limo, pierde sus propiedades al tener cierta capilaridad y poder de retención de agua y sales.

5.2.2. Ventajas e Inconvenientes del Enarenado

El enarenado reúne una serie de características que son comunes a cualquier acolchado, a las que hay que sumar las que la arena proporciona debido a las propiedades de este material.

Además, **el horizonte orgánico permite:**

- Acumular la humedad y el calor cedidos por la arena.
- Acumular nutrientes procedentes del fertirriego y liberarlos, a medida que la planta los va absorbiendo, además de aportar los procedentes de su propia mineralización.
- En función de lo anterior, puede aliviar situaciones de estrés: hídrico, nutricional y térmico.
- Por todo ello facilita el desarrollo de las raíces.

▼ Ventajas:

- Ahorro de agua, ya que al romper la capilaridad del terreno, disminuye de forma importante la evaporación del suelo, conservando la humedad del mismo.
- Permite la utilización de aguas más salinas ya que al no haber apenas movimiento ascendente del agua en el suelo, tampoco las sales ascienden, facilitando su lavado y permitiendo una menor acumulación de éstas en la zona donde viven la mayor parte de las raíces.
- El calor captado por la arena durante el día es cedido al suelo y también al ambiente a medida que éste se enfría al atardecer. A su vez hace de barrera disminuyendo la pérdida de calor del suelo durante la noche. Este efecto sobre la temperatura tanto del suelo como del ambiente permite en general mayor precocidad y producción.
- El aumento de temperatura en suelos enarenados con respecto a otros no enarenados llega a ser de hasta 5º C.
- Dificulta el desarrollo de malas hierbas y facilita la eliminación de las ya germinadas.
- Mayor limpieza sobre todo para los frutos: poco polvo, no salpica barro, etc.

▼ **Inconvenientes:**

- Problemas ecológicos y de disponibilidad. Hasta ahora la arena que más y mejor se ha utilizado era la procedente de las playas. Es un recurso limitado por lo que cada vez es más difícil su obtención. Una alternativa pueden ser arenas procedentes de canteras.
- Su implantación resulta muy costosa, dados los precios alcanzados tanto por la arena como por el estiércol.
- Resulta complicado y costoso su mantenimiento tanto si el **retranqueo** se hace en toda la superficie como en **carillas**.

5.2.3. Manejo y Mantenimiento del Enarenado

Si a la hora de escribir sobre las características, ventajas e inconvenientes del enarenado es difícil precisar, ya que no existen datos cuantitativos comparables, aún resulta más difícil dar datos y recomendaciones sobre su manejo, ya que apenas existen experiencias e investigación sobre el funcionamiento del mismo.

Por ello vamos a hablar sobre la técnica tradicional y las tendencias más recientes.

Tradicionalmente el mantenimiento del enarenado se ha hecho mediante el **“retranqueo”** que consiste de forma simple en apartar la arena, aportar la mitad de la materia orgánica, labrar, aportar el resto de la materia orgánica y volver a incorporar la arena. Esta operación se hace en bandas alternas hasta hacerlo en toda la superficie. Esta operación se realizaba cada 3-4 años.

Actualmente existen muchas modificaciones sobre esta técnica, entre ellas:

- Hacerlo solo en las líneas de cultivo (“carillas”).
- Incorporar estiércol pero no labrar.
- Aportar fertilizantes orgánicos industriales de forma mecánica sólo sobre las hileras del cultivo, también sin labrar.
- Poner plástico negro encima de la arena, buscando un manejo del cultivo tipo “semihidropónico” aprovechando un enarenado ya implantado.

Cada una de estas posibilidades puede ser teóricamente discutida y razonada por lo que será objeto de análisis durante la clase ya que no se puede generalizar con respecto a los resultados que producen ni extrapolar comportamientos de unas explotaciones a otras pues no sólo depende de la técnica en sí, sino del tipo de suelo, del manejo de la fertirrigación, etc.

Lo que sí parece claro es la tendencia a mecanizar la incorporación de materia orgánica debido a lo tedioso de esta labor, y a la utilización de materias orgánicas comerciales por ir concentradas, libres de semillas, fermentadas, homogéneas, y con riqueza y contenidos en nutrientes conocidos y garantizados (en su caso), evitando al mismo tiempo los inconvenientes que puede presentar el uso de estiercoles de procedencia desconocida, con pocas garantías sobre su origen, composición, sanidad y posiblemente con crecientes problemas de disponibilidad.

Sólo se aportará abonado de fondo, mezclado con la materia orgánica, si fuese preciso realizar alguna corrección o desequilibrio detectado a través de análisis de suelo.

6. Alternativas: Cultivos sin Suelo

6.1. Introducción

Los sistemas de **cultivo sin suelo** no son algo novedoso, prácticamente su nacimiento y desarrollo fue paralelo a las investigaciones efectuadas durante el siglo XIX encaminadas a identificar cuales son los constituyentes de las plantas y de donde son obtenidos por ellas. Valga como ejemplo el hecho de que dos científicos alemanes Sachs (1860) y Knop (1861) fueron capaces de desarrollar una técnica para cultivar plantas en agua con minerales disueltos, lo que estrictamente se denomina como **cultivo hidropónico** (cultivo en agua).

Avanzando por este camino se fueron encontrando los distintos nutrientes que las plantas necesitan tomar por las raíces para conseguir un adecuado desarrollo.

Desde finales de siglo XIX se desarrollaron muchas técnicas basadas en el cultivo sin suelo para seguir estudiando los principios de la nutrición vegetal. Y fue a comienzo de los años treinta cuando W.F. Gericke, de la Universidad de California, intentó trasladar las pruebas de laboratorio a actividades comerciales, obteniéndose resultados positivos cuando esta técnica se empleó durante la 2ª guerra mundial para suministrar alimentos a las tropas americanas estacionadas en las islas incultivables del Pacífico. Ello contribuyó a incrementar el interés en el campo comercial a partir de los años cincuenta.

Hoy en día estas técnicas están teniendo un desarrollo muy rápido, dado que se han conseguido desarrollar sistemas de cultivo sin suelo trasladables al "campo", mostrándose como sistemas productivos económicamente rentables y accesibles no sólo a grandes empresas sino a pequeñas explotaciones.

6.2. El Por Qué del Cultivo sin Suelo

Cualquier especie vegetal, tiene un determinado potencial productivo, es decir "una capacidad máxima de producción" en condiciones óptimas. La misión del agricultor consiste en **favorecer aquellas condiciones que hagan a la planta aproximarse a ese potencial productivo.**

Para ello se deben mejorar los diferentes factores productivos, tales como:

- Factores medioambientales: temperatura, iluminación, etc.
- Técnicas de cultivo: podas, entutorados, etc.
- Estado sanitario: plagas y enfermedades.
- Nutrición.

El paso del cultivo "en la calle" al cultivo en invernadero ha supuesto un gran avance. Tras ello se han sucedido mejoras en climatización, sistemas de riego, variedades, fertilización, técnicas de desinfección de suelo, injertos, etc. incrementando paulatinamente los niveles productivos. El desarrollo de los sistemas de cultivo sin suelo, ha permitido mejorar aun más dichos niveles.

Existen varias razones que pueden motivar el emplear estas técnicas de producción:

▼ Con las técnicas de cultivo sin suelo se pretende tener un mejor control sobre la nutrición de la planta, **ofreciendo en condiciones óptimas agua y nutrientes**, permitiendo así al cultivo un menor gasto en su trabajo radicular. Ello debe traer consigo incrementos en producción y en calidad.

Menor gasto energético de la planta en nutrición, mayor producción.

Mayor control sobre la nutrición vegetal, mejor calidad.

▼ El cultivo sin suelo es una alternativa válida cuando por diversas causas el suelo pierde o no reúne propiedades agrícolas suficientes, debido a enfermedades, salinización, mala permeabilidad, etc.

Alternativa a un suelo improductivo o poco fértil.

▼ Pero como motivo puede bastar que el empresario agrícola quiera buscar unos medios de producción bien equipados, que le permitan tener un mejor control sobre su cosecha.

Querer estar en la vanguardia de la tecnología agrícola.



▲ Foto. 1. Colocación de sacos de perlita.

6.3. Ventajas e Inconvenientes

6.3.1. Ventajas

▼ Sanitarias

Los sustratos empleados normalmente presentan garantías de encontrarse libres de patógenos, esencialmente aquellos que sean sintéticos debido a los procesos de fabricación (por ejemplo uso de altas temperaturas). Por contra, los sustratos de origen natural en general no se esterilizan, aunque como normalmente provienen de zonas alejadas, el riesgo de contaminación es bajo.

Si no se reutilizan los drenajes, los riesgos de propagación de enfermedades en la plantación son bajos o no existen.

▼ Homogeneidad

Como todas las plantas dentro de una plantación cuentan con un sustrato y una nutrición equilibrada y controlada, el desarrollo vegetativo es similar para todas ellas, lo que repercute en mayor calidad y producción homogénea.

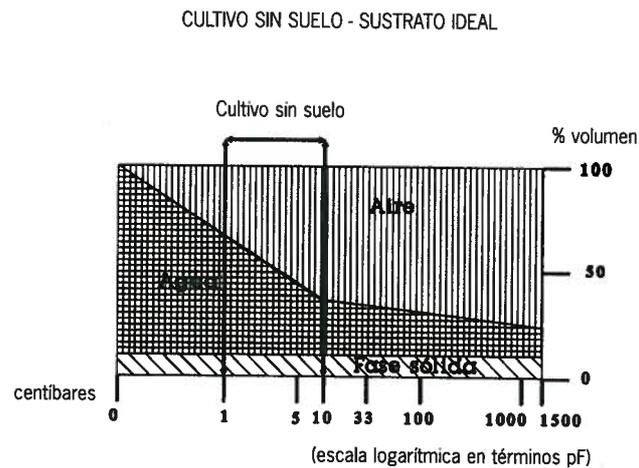
Una homogeneidad en el desarrollo del cultivo hace que todas las prácticas culturales sean más cómodas y rápidas.

▼ **Agua**

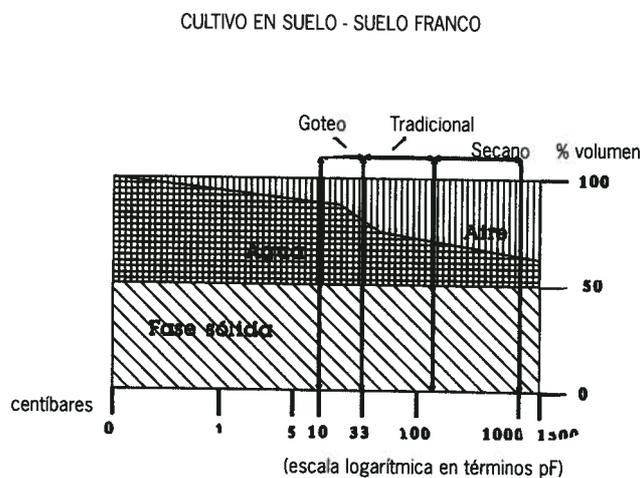
El nivel de agua disponible para la raíz es prácticamente constante, además ésta se encuentra retenida por el sustrato con poca fuerza. Ello da lugar a que no existan situaciones de estrés hídrico y a que la planta tenga un menor gasto energético para la obtención de agua.

Pueden emplearse aguas más salinas que en cultivo con suelo, pero a expensas de un mayor gasto en fertilizantes y agua.

En los siguientes gráficos podemos ver la diferencia que existe entre un suelo "franco" y un sustrato "ideal", observando que siempre en suelo los esfuerzos que tiene que realizar la planta para tomar agua son mayores, del orden de 100 a 10.000 cm de columna de agua (de 10 a 1.000 cb) según el sistema de cultivo, en cambio en cultivo sin suelo pueden oscilar entre 10 y 100 cm (de 1 a 10 cb).



▲ Fig. 32. Rangos de utilización del agua según distintos sistemas de cultivo.



▲ Fig. 33. Rangos de utilización del agua según distintos sistemas de cultivo.

▼ **Nutrición**

Es más fácil el ajustar la concentración y el equilibrio de los distintos nutrientes en la solución que rodea a las raíces, y aún más si se trata de sustratos inertes. En el suelo, aunque teóricamente posible en la práctica es complicado y lento, debiéndose conformar en la mayoría de los casos con aproximaciones más o menos ajustadas al equilibrio buscado.

▼ **Cultivo**

Las labores (podas, entutorados, etc.) durante el cultivo se abaratan y simplifican, debido a su mayor uniformidad. Las labores preparatorias en muchos casos se eliminan (abonado de fondo, laboreo, etc.) o se simplifican notablemente (desinfección y eliminación de malas hierbas).

▼ **Precocidad**

Como consecuencia del conjunto de mejoras introducidas, es notable el adelantamiento de la entrada en producción en cualquiera de los cultivos desarrollados por este sistema.

▼ **Calidad de fruto**

Nos encontramos con una mayor uniformidad y calidad de frutos en cuanto a sus características visuales (color, escriturado, etc.) y productivas (peso de la cosecha).

▼ **Seguridad**

Los medios y el control requerido para llevar a cabo una explotación con éxito son mayores que los utilizados en un cultivo tradicional, por lo tanto existen mejores expectativas de alcanzar los objetivos propuestos al comienzo de la campaña.

6.3.2. Inconvenientes

▼ **Sanitarios**

Los sustratos empleados se encuentran sin defensas naturales y en unas condiciones de humedad ideales, viéndose favorecido el desarrollo y la propagación de patógenos dentro de los contenedores. Una de las posibles formas de atajar el problema sería eliminar las unidades de cultivo contaminadas, o desinfectarlas.

▼ **Agua**

Los sustratos presentan algunos inconvenientes:

- Sus reservas de agua para mantener un estado óptimo de humedad favorable son pequeñas, por lo tanto son muy susceptibles ante cualquier error de manejo o avería en el equipo de riego.
- En cultivo sin suelo es imprescindible el uso de drenaje en el caso de “sistemas abiertos de solución perdida”, en cultivo con suelo puede llegarse al extremo de tener un drenaje prácticamente nulo, con el consiguiente ahorro de agua.

– Por otra parte los equipos de riego deben de ser más precisos y de fácil automatización y manejo.

▼ **Nutrición**

Debido a que el suelo presenta un cierto nivel de reservas y realiza un cierto efecto tampón, puede existir una mayor relajación en cuanto a la regularidad en las distribuciones de abono, lo cual no es posible permitirse en cultivos sin suelo ya que cualquier desequilibrio o alteración en la solución nutritiva repercute inmediatamente en el cultivo.

▼ **Temperatura**

Los volúmenes de sustrato empleados no son comparables al volumen del suelo. Ello origina que el sustrato se calienta y se enfría muy rápidamente pudiendo provocar condiciones extremas de temperatura para las raíces.

Al margen de analizar estas cuestiones de tipo técnico y de manejo que pueden considerarse entre las ventajas e inconvenientes de un cultivo sin suelo con respecto a un cultivo en suelo, antes de plantearse la elección entre uno u otro sistema habrá que tener en cuenta otros factores que son de gran importancia e incluso pueden llegar a ser limitantes. Entre esos otros factores podemos considerar:

- Formación del agricultor.
- Posibilidad de disponer de energía eléctrica a pie de finca o alternativas, en su caso.
- Calidad del agua, si no se dispone de desalinizadora.
- Dedicación del agricultor.

6.4. Sistemas de Cultivo sin Suelo

De acuerdo al manejo que se hace de la solución nutritiva se han desarrollado diversos sistemas que se pueden clasificar de la siguiente forma:

▼ **Sistemas cerrados o de solución recirculante**

La solución nutritiva empleada se reutiliza varias veces, buscando un mayor aprovechamiento de agua y de abono, y teniendo un vertido limitado de aguas con fertilizantes.

▼ **Sistemas abiertos o de solución perdida**

La solución nutritiva es aportada una sola vez al cultivo, perdiéndose la que no es retenida por el sustrato en forma de drenaje.

En general los sistemas de solución nutritiva perdida son menos sofisticados, precisan de menos conocimientos técnicos para su implantación y manejo, exigen menos controles y permiten la utilización de aguas de menor calidad. Tienen el inconveniente de que el sustrato hay que sustituirlo con cierta frecuencia lo cual supone un desembolso económico

periódicamente y un problema ecológico por la eliminación del sustrato desechado y el vertido de aguas de drenaje.

Estos dos grupos a su vez se pueden dividir en otros dos atendiendo a si emplean un sustrato (natural o artificial) donde se desarrollen las raíces, o si simplemente aportan la solución nutritiva a las raíces desnudas (cultivos hidropónicos).

Actualmente, en Almería, el sistema más extendido es el de solución perdida siendo los sustratos más utilizados perlita y lana de roca. Pero la escasez de agua y el intento de mejorar la eficiencia en su uso está provocando que ya se empiecen a desarrollar algunas experiencias con sistemas recirculantes.



▲ Foto. 2. Detalle de un saco de perlita.

6.5. Sustratos

El sustrato es el medio en el cual se desarrollan las raíces de las plantas, colocado en un contenedor que lo aísla del suelo impidiendo el desarrollo de las raíces en él, siendo capaz de proporcionar a la planta el agua, los nutrientes y el oxígeno que requieran.

Los podemos clasificar atendiendo al siguiente criterio:

▼ Orgánicos

- De origen natural.
Turbas, fibra de coco, acículas de pino, serrín, etc.

- Inorgánicos.

- De origen natural.
Arenas, materiales de origen volcánico, lana de roca, perlita, arcilla expandida, etc.

- Sintéticos.
Poliestireno, poliuretano, etc.

La diferencia entre los distintos materiales viene determinada por sus distintas características físicas y químicas que afectan a la capacidad de retención de aire y agua y a su comportamiento frente al pH y los nutrientes.

La elección de un material u otro se hace en función de varios criterios entre los que habrá que considerar:

- Disponibilidad.
- Coste.
- Debe permitir una buena circulación de solución nutritiva.
- Adecuada relación aire/agua.
- Cuanto menor sea la C.I.C. mayor control sobre la nutrición permite.
- Debe permitir un buen suministro de agua y nutrientes para la planta.
- Una buena estabilidad física y química, que permita su uso para varios cultivos sucesivos.
- Que no altere el pH de la solución nutritiva.
- Homogeneidad en sus características físicas y químicas.
- Libre de patógenos y de elementos tóxicos.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección, si ello fuera necesario.
- De manejo fácil y asequible a la tecnología, infraestructuras y formación técnica del agricultor.
- Baja densidad aparente.

La infiltración no debe de ser demasiado rápida, para que haya un mayor contacto entre la raíz y la solución nutritiva retenida por el sustrato, lo que repercute en un mejor aprovechamiento de los nutrientes.

Los poros existentes en el sustrato deben poder llenarse de aire para poder mantener la concentración de oxígeno necesaria para las raíces. Pero un exceso de aireación puede producir oxidación y necrosis radicular. Por lo tanto es importante tanto el nivel de porosidad, como el tamaño de dichos poros.

La profundidad del contenedor es determinante para el contenido de aire del sustrato, cuanto más profundo es el contenedor, mayor es el contenido en aire. Es necesario que haya una buena relación entre las dimensiones del contenedor y el tipo de sustrato utilizado. Existen otras características de los sustratos que son interesantes de conocer, esencialmente por que determinarán el volumen de sustrato que será necesario emplear por planta:

▼ **Agua fácilmente disponible**

Es la cantidad de agua, expresada en % sobre el volumen total del mismo, de que dispone una planta sin ejercer un gran esfuerzo (entre 10 y 50 cm de columna de agua de tensión) y cuya absorción prácticamente no influye sobre el rendimiento del cultivo.

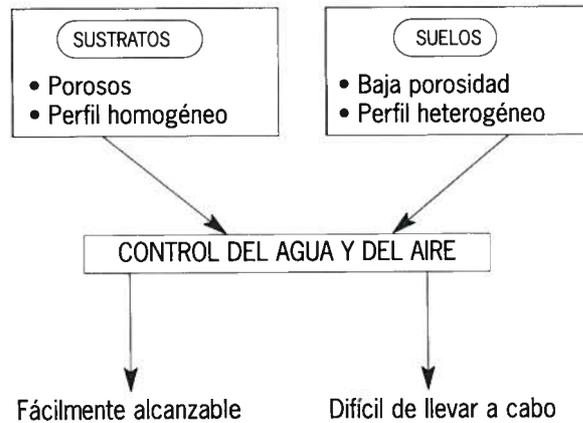
▼ **Agua de reserva**

Es la cantidad de agua, expresada en %, de que dispone la planta pero ejerciendo un cierto esfuerzo (de 50 a 100 cm de columna de agua) que ya influye notablemente sobre el rendimiento del cultivo.

▼ **Agua difícilmente disponible**

Es la cantidad de agua, expresada en %, que difícilmente podrá absorber la planta al ser muy fuertemente retenida por el sustrato (por encima de 100 cm de columna de agua).

En el siguiente cuadro podemos apreciar las diferencias de control de las que disponemos en un sustrato y en el suelo.



A continuación se describen algunas propiedades de algunos de los sustratos más comúnmente empleados.

6.5.1. Turbas

Las turbas son materiales de origen vegetal, de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen.

Se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas, las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica.

Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivo sin suelo debido a que las turbas negras tienen una aireación algo deficiente y unos contenidos altos en sales solubles.

Las turbas rubias tienen como aspectos positivos sus buenos niveles de retención de agua y aireación, como aspecto negativo el que no es un producto standard (variabilidad que depende de su origen), la inestabilidad de su estructura y su alta "capacidad de intercambio catiónico" (C.I.C.) que interfiere en cierta medida sobre la nutrición. Presentan un pH variable que puede oscilar entre 3,5 y 8,5.

Su consumo no está muy extendido en general en España si exceptuamos su uso como sustrato para contenedor en la producción de planta ornamental, así como en la producción de plántulas hortícolas (semilleros).

Propiedades	Turbas rubias	Turbas negras
Densidad aparente (gr/cm ³)	0,06 - 0,1	0,3 - 0,5
Densidad real (gr/cm ³)	1,35	1,65 - 1,85
Espacio poroso (%)	94 o más	80 - 84
Capacidad de absorción de agua (gr/100 gr m.s.)	1.049	287
Aire (% volumen)	29	7,6
Agua fácilmente disponible (% volumen)	33,5	24
Agua de reserva (% volumen)	6,5	4,7
Agua difícilmente disponible (% volumen)	25,3	47,7
C.I.C. (meq/100 gr)	110 - 130	250 o más

6.5.2. Lana de Roca

Es un material obtenido a partir de la fundición a mas de 1600°C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón de coke. Finalmente al producto obtenido se le da una estructura fibrosa, se prensa, endurece y se corta en la forma deseada.

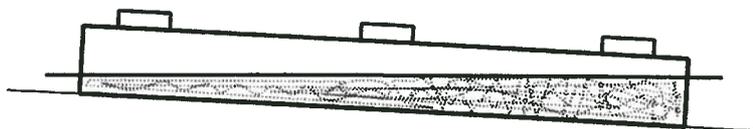
Es considerado como un substrato inerte, con una capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) casi nula y un pH ligeramente alcalino, fácil de controlar.

Tiene una estructura homogénea, un buen equilibrio entre agua y aire. Pero presenta el inconveniente de la degradación de su estructura. Ello da lugar a que no pueda ser empleado más de 3 años sin que las producciones se vean significativamente afectadas.

Sus características referidas a retención de agua y relación entre agua y aire, limitan las dimensiones de las planchas de lana de roca.

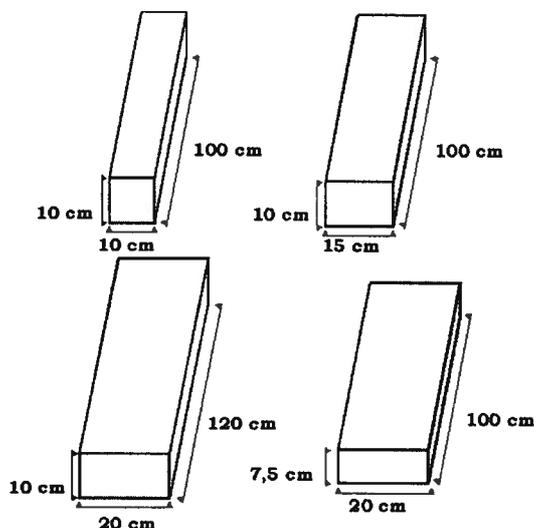
Propiedades	
Densidad aparente (gr/cm ³)	0,09
Espacio poroso (%)	96,7
Material sólido (% volumen)	3,3
Aire (% volumen)	14,9
Agua fácilmente disponible + Agua de reserva (% volumen)	77,8
Agua difícilmente disponible (% volumen)	4

Es un material con una gran porosidad y que retiene mucha agua, pero muy débilmente. Esto motiva que a la hora de colocar las tablas de lana de roca estas deben de estar muy horizontales, de tal forma que haya un buen reparto de agua a lo largo de las tablas y no existan desequilibrios entre las plantas.



▲ Fig. 34. Distribución del agua en una tabla mal nivelada.

Para seleccionar una u otra dimensión, un dato importante a tener en cuenta será la reserva de agua que sería más conveniente, así como el mayor aprovechamiento posible del volumen de la plancha de lana por el sistema radicular del cultivo, de forma que no “se desperdicie” sustrato no humedecido o encharcado. Conviene tener en cuenta que puede haber diferencias de densidad del sustrato entre distintas casas comerciales e incluso una misma casa puede ofrecer distintas densidades a distintos precios. Entre las dimensiones más corrientes empleadas en Almería nos encontramos con las siguientes:



▲ Fig. 35. Distintos tamaños en tablas de lana de roca comerciales.

Este material se utiliza envuelto en una lámina de polietileno bicolor (negro por dentro, blanco por fuera).

6.5.3. Perlita

Se trata de un silicato aluminico de origen volcánico, que se puede considerar prácticamente inerte, con una capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) nula y un pH ligeramente alcalino pero fácilmente neutralizable.

Tiene una estructura muy estable con una buena relación entre agua y aire.

Este sustrato presenta una degradación relativamente lenta, de tal forma que puede ser empleado en algunos cultivos de ciclo largo, como pueden ser "rosales" (5-6 años) o "claveles" (2-3 años). Pudiendo aprovecharse para el siguiente cultivo hasta un 80% del volumen de perlita, previa desinfección y reposición de sustrato.

Se comercializan distintos tipos de perlita, que se diferencian en la distribución del tamaño de sus partículas y en su densidad. Algunos tipos comercializados, son los del siguiente cuadro:

Tipo	Diámetro (mm)	Densidad Kg/m ³
A-13	3 - 5	100 - 120
B-12	0 - 5	105 - 125
B-6	0 - 1,5	50 - 60

Un dato importante a tener en cuenta sobre la calidad del sustrato se encuentra en la homogeneidad en el tamaño de las partículas, ya que si hubiese diferencias de tamaño al cabo del tiempo las de menor diámetro estarían en el fondo del contenedor empleado y las de mayor tamaño quedarían en las zonas altas, produciéndose notables irregularidades en la retención del agua por el sustrato.

En las siguientes tablas se pueden ver algunas de sus propiedades físicas y químicas:

Propiedades químicas	
pH	7 - 7,5
C.I.C.	1,5-2,5 meq/100 g
Capacidad tampón de pH	muy limitada

Propiedades físicas	Tamaño de partículas (mm de diámetro)		
	0-1,5 B-6	0-5 B-12	3-5 A-13
Densidad aparente (Kg/m ³).	50-60	105-125	100-120
Espacio poroso (%).	97,8	94	94,7
Material sólido (% volumen).	2,2	6	5,3
Aire (% volumen).	24,4	37,2	65,7
Agua fácilmente disponible (% volumen).	37,6	24,6	6,9
Agua de reserva (% volumen).	8,5	6,7	2,7
Agua difícilmente disponible (% volumen).	27,3	25,5	19,4

Una cuestión importante es determinar cual es el volumen empleado de este material. La perlita se hace más sensible a los cambios de temperatura, conductividad y a las deficiencias en la uniformidad de riego cuanto menor sea el volumen de ella utilizado. De tal forma que se recomienda utilizar al menos 134 m³ por Ha. También se estudia las dimensiones del saco o del contenedor a emplear, determinando la relación entre estas y la capacidad de retención de agua y aire. De tal forma que se recomiendan sacos con las siguientes características:

- Perlita tipo: A-13.
- Volumen del saco: 40 litros.
- Dimensiones: 1,2 m de longitud por 15 - 20 cm de diámetro.
- Plantando de 3 a 6 plantas, según cultivos, con un volumen de 13,3 a 6,7 litros de perlita por planta.

La forma más común de emplearla es envuelta en una lámina de polietileno bicolor, lo que se denomina como "saco".

6.6. Soluciones Nutritivas

Se entiende como solución nutritiva al agua que se aporta a través del sistema de riego y en la cual irán disueltos todos los nutrientes que la planta necesite en las proporciones adecuadas. Cualquier solución nutritiva tiene que tener seis macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Y contar también con los micronutrientes: hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno y cloro.

No hay una solución nutritiva ideal. Las necesidades de las plantas dependen del estado fenológico, temperatura, radiación recibida, etc. y por supuesto la especie.



▲ Foto. 3. Cultivo en tablas de perlita con "sistema abierto de solución perdida".

6.6.1. Cálculo de las Soluciones Nutritivas

Es necesario primeramente contar con el análisis del agua disponible en la explotación y que se va a utilizar. Cuando se tiene que calcular una solución nutritiva, se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1) Fijar la solución nutritiva completa que se quiere emplear.
- 2) Disponer del análisis del agua de riego.
- 3) Ajuste del pH de la solución nutritiva.
- 4) Ajuste de los macroelementos.
- 5) Ajuste de los microelementos.
- 6) Cálculo de la conductividad eléctrica final.

La solución nutritiva utilizada va a depender de la especie cultivada y variará a lo largo del ciclo de cultivo de acuerdo al estado de desarrollo de éste y a las condiciones ambientales que influirán en el ritmo de crecimiento de las plantas y por tanto en sus necesidades nutritivas.

6.6.2. Determinación de las Necesidades de Riego en "Sistemas Abiertos de Solución Perdida"

De toda el agua suministrada por el riego, parte de ella será empleada por la planta y el resto se perderá constituyendo la solución de drenaje. Si estuviéramos efectuando un cultivo en suelo tendríamos que tener en cuenta además el agua evaporada directamente del suelo a la atmósfera.

$$A_r = A_c + A_d$$

A_r = Agua de riego.

A_c = Agua consumida por la planta.

A_d = Agua de drenaje.

La cantidad de agua de riego se puede conocer fácilmente, dado que bien podemos medir directamente el agua suministrada por uno o varios goteros, o bien podemos disponer de un contador en el cabezal de riego.

Así mismo se puede recoger el drenaje en unos recipientes y medir su volumen. Si estamos midiendo el agua aportada por un número determinado de goteros, recogeremos el agua de drenaje correspondiente al mismo número de goteros.

Conociendo estos datos es fácil determinar en cada momento el agua consumida por la planta. Basta restar al volumen de agua suministrada por el riego, el volumen de agua de drenaje.

$$A_c = A_r - A_d$$

Otro dato interesante sería establecer la relación entre el agua de riego y el agua de drenaje, dato que normalmente se expresa en tanto por ciento ($A_d\%$), y que se denomina como **porcentaje de drenaje**.

$$A_d(\%) = \frac{A_d \times 100}{A_r}$$

Determinando estos parámetros y en base a datos conocidos, podemos ver fácilmente si el volumen de agua suministrada o el nivel de drenajes que tenemos (en relación a los riegos efectuados) en una plantación responden a las necesidades del cultivo y nos permiten mantener los parámetros (C.E. y contenidos en nutrientes) que previamente hemos definido para el cultivo.

6.6.3. Controles durante el Cultivo

Es necesario efectuar controles periódicamente tanto del agua de drenaje, como de la solución nutritiva empleada en el riego.

Controlar la solución nutritiva que sale por los goteros, sirve para constatar el buen funcionamiento de los equipos de riego y fertilización. Este control se puede efectuar cada 15 ó 30 días, o más espaciadamente, dependiendo de la fiabilidad de los equipos.

Diariamente se determinará sobre el agua de drenaje su pH, su conductividad eléctrica y el volumen. Es conveniente la anotación de los datos recogidos para lo cual podemos emplear un estadillo similar al que se muestra a continuación. Una vez se tenga experiencia estas medidas pueden tomarse dos o tres veces por semana o más espaciadamente.

Finca/Parcela _____ Mes _____ Cultivo _____							
Día	Solución de drenaje			Solución nutritiva (gotero)			% de drenaje (b/a) x 100
	pH	C.E.	(a) Vol. de una tabla	pH	C.E.	(b) Vol. de una tabla	

Además resultaría interesante efectuar análisis de macroelementos y microelementos con una periodicidad que oscila de 15 a 30 días.

Estos análisis sirven para poder determinar si la solución nutritiva que estamos aportando responde al ritmo de absorción del cultivo o hay que rectificarla. Hay que tener presente que en el caso de sustratos no inertes la correlación entre los datos del drenaje y los de

la solución nutritiva es muy complicada debido a la actividad química de estos sustratos (complejo de intercambio catiónico, poder tampón...).

Cuando se empleen sustratos como lana de roca y perlita se puede atender al siguiente esquema donde se relaciona la **variación de nutrientes entre el agua de drenaje y la solución nutritiva**:

- **Conductividad eléctrica (CE)**: normalmente se mueve en torno a un 125-150% con respecto a la de la solución nutritiva. Excepcionalmente puede ser inferior durante el verano y comienzos del cultivo al haber fuertes consumos de nutrientes (especialmente nitratos).

- **pH**: suele aumentar tanto más cuanto mayor es el consumo de NO_3^- . Si el pH de la solución nutritiva suele ser 5,5 - 5,8, en tabla normalmente vamos a tener pH en torno a 7.

- **(Nitratos) NO_3^-** : Fuerte consumo al comienzo de la plantación y en días largos. Tiende acumularse en plena producción y en días cortos.

- **Nutrientes**: los niveles normales con respecto a la solución nutritiva que estamos aportando se encuentran representados en la siguiente tabla.

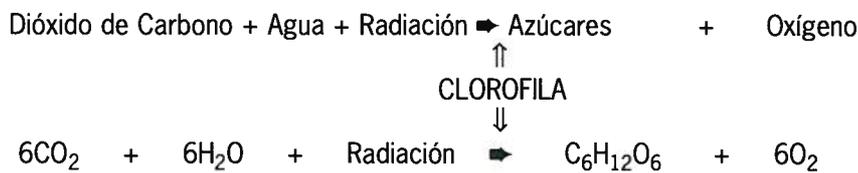
Nutrientes	Variación %
NO_3^-	75 - 125
NH_4^+	0 - 50
PO_4H_2^-	50 - 75
K^+	50 - 100
Ca^{2+}	100 - 150
Mg^{2+}	100 - 300
SO_4^{2-}	100 - 200
Na^+	150 - 200
Cl^-	150 - 200
Fe	75 - 200
Mn	40 - 100
Zn	100 - 200
B	100 - 200

III. Medio Ambiente en Invernaderos



1. Parámetros Climáticos

Recordemos que el proceso fisiológico fundamental en las plantas y su misión más importante es la **fotosíntesis**, cuya expresión química es la siguiente:



La asimilación de dióxido de carbono se produce a través de los estomas y normalmente va asociado a una pérdida de agua (transpiración).

El objetivo para conseguir la mayor eficiencia posible del proceso, sería **“maximizar la asimilación de dióxido de carbono con mínima pérdida de agua”**.

Vamos a estudiar los factores ambientales y climáticos que intervienen en la fotosíntesis y en general, en el crecimiento y productividad de las plantas y nuestras posibilidades de influir sobre ellos para conseguir mejor calidad y mayores rendimientos.

Los parámetros climáticos que determinan el desarrollo de los cultivos en sus diferentes fases (germinación, crecimiento, floración, fecundación y maduración del fruto) son:

Radiación
Temperatura
Humedad Relativa
Dióxido de Carbono

1.1. Radiación

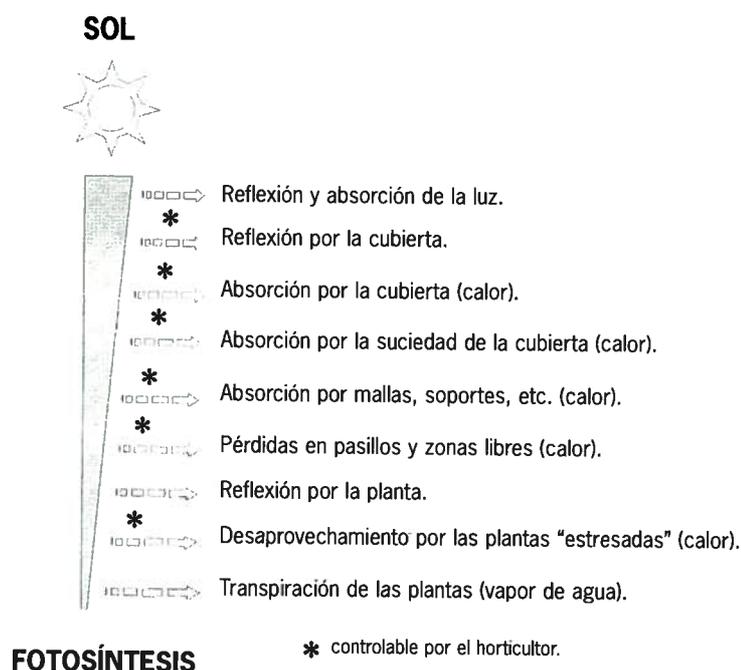
1.1.1. Introducción. Fotosíntesis y Radiación

La energía necesaria para el desarrollo de las plantas procede de la Radiación Solar.

La radiación va a influir en el proceso de la fotosíntesis de las plantas y por lo tanto en la productividad, precocidad y calidad de la cosecha. Un exceso de luz puede producir una saturación lumínica en la planta llegando incluso a alterar distintos procesos químicos y a producir daños irreversibles en las células; en cambio una deficiencia de luz va a provocar un ahilamiento de las plantas, aborto floral y mala calidad del fruto.

La energía emitida por el sol llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas de distintas características. Para medir las distintas radiaciones que emite el sol se emplea la *longitud de onda* y las unidades de medida más frecuentes son el nanómetro (nm) y el Angstrom. En función de la longitud de onda la radiación que emite el sol se divide en:

Tipo de Radiación	Efecto	Longitud de onda
Ultravioleta	Químico	100 a 390 nm
Visible	Luminoso	390 a 760 nm
Infrarroja	Térmico	760 a 2000 nm



▲ Fig. 36. Transformación y Degradación de la Luz en el Invernadero.

1.1.2. Influencia de la Iluminación sobre otros Procesos Vegetales

▼ Fotoperiodo

Se entiende por fotoperiodo la influencia que tiene la duración del período de iluminación sobre la floración de algunas plantas. En función de éste consideramos tres grupos:

– **Plantas de día corto:** Florecen a medida que disminuye el período de iluminación o la duración del día. Ejemplo: crisantemo, poinsetia (pascuero).

– **Plantas de día largo:** Florecen a medida que se alarga el período de iluminación o la duración del día. Ejemplo: *Gypsophilla paniculata* (pillanovios), la mayoría de las plantas silvestres.

– **Plantas indiferentes:** No les afecta la duración del día para florecer. La mayoría de las hortalizas cultivadas son plantas indiferentes, característica ésta que se ha conseguido mediante mejora genética.

Cuando se pretende cultivar alguna especie de día corto o de día largo fuera de su época normal es necesario manipular la duración del período de luz bien con pantallas opacas o bien con luz artificial.

▼ Fototropismo

Es el fenómeno por el cual las plantas orientan su crecimiento hacia el lugar de donde procede la luz.

Una consecuencia del fototropismo se puede observar en el “ahilamiento” del pimiento durante el verano, cuando nos encontramos en un invernadero excesivamente sombreado (exceso de blanqueo).

La **Radiación ultravioleta** influye negativamente en el crecimiento normal de las plantas y es la causante del envejecimiento prematuro de los plásticos.

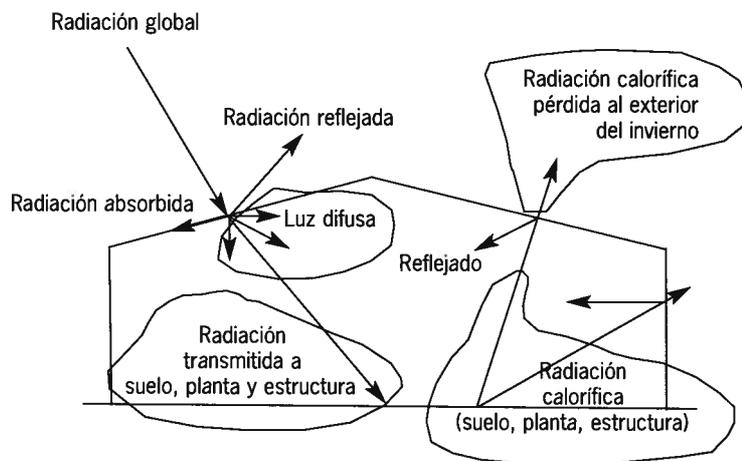
Estas radiaciones son más intensas y degradantes para los plásticos en verano, porque los rayos inciden más perpendiculares y actúan durante más horas al día que en invierno. Por este motivo, a igualdad de calidad del plástico y tipo de estructura, un plástico dura menos en Almería que en otros lugares de menor insolación.

La **Radiación visible** supone el 50% del total de la radiación solar y gran parte de ésta es la que se utiliza en la fotosíntesis, es la denominada **Radiación Fotosintéticamente Activa (radiación PAR)**. Esta radiación comprende distintas longitudes de onda y las más eficientes para fotosíntesis son las que corresponden a los colores azul y rojo-anaranjado.

La **Radiación infrarroja** es la encargada de calentar el suelo, los materiales de estructura del invernadero y las propias plantas.

No toda la radiación que emite el sol llega a la superficie terrestre, una gran parte es absorbida por las nubes y por la atmósfera y también reflejada y difundida al exterior de la atmósfera.

También en el invernadero se puede establecer un balance de radiación: La luz incidente sobre el material puede ser reflejada, absorbida o transmitida.



La repercusión de la falta de luz afecta tanto a la producción como a la calidad de la cosecha.

Algunos estudios reflejan que para determinados cultivos por cada 1% de disminución de radiación puede representar hasta un 1% de disminución del rendimiento.

Con respecto a la calidad, se ha comprobado que tanto pimiento como pepino responden positivamente a incrementos de radiación, ya que aumenta la fotosíntesis, mejorando el tamaño, peso y forma del fruto, caracteres que son fundamentales en la calidad de la cosecha. En tomate, en condiciones de baja radiación, resulta difícil alcanzar los contenidos mínimos de materia seca en fruto para conseguir un sabor adecuado, afectando igualmente a su coloración, consistencia y tamaño.

1.1.3. Aparatos de Medida y Unidades

El lux es la unidad de medida que se utiliza para la radiación visible, pero la unidad más correcta, cuando medimos radiación fotosintéticamente activa (PAR), son los micro-moles de fotones por m² y por segundo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y los aparatos de medida son respectivamente el LUXÓMETRO y el SENSOR DE PAR.

En zonas de fuerte insolación, como el litoral andaluz, valores normales de radiación al medio día solar (máxima diaria) pueden ser en un día de invierno 900 μmoles y en verano 2.000 μmoles . La mayoría de las hortalizas comestibles tienen su óptimo por encima de los 1.000 μmoles . Esto significa que en invierno falta bastante luz, pero si a esto añadimos en un invernadero que el plástico sea de segunda campaña y que la cubierta no esté limpia, el problema se agrava, pudiendo quitar hasta un 20% ó más de radiación que con un plástico limpio de primera campaña.



▲ Foto. 4. Ventilación cenital en un invernadero de cubierta semicircular.

1.1.4. Factores que Influyen en la Radiación Recibida en el Interior del Invernadero

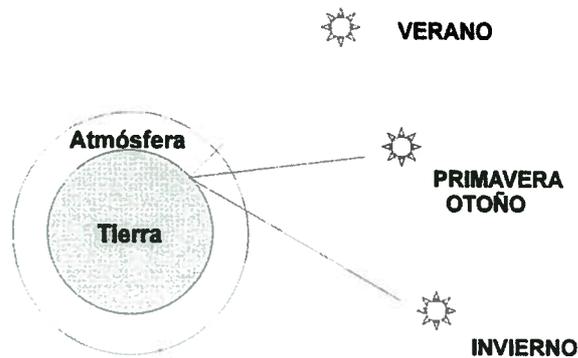
▼ Factores no modificables:

- Situación geográfica.
- Estación del año.
- Hora del día.

▼ Factores modificables:

- Orientación y geometría de la cubierta.
- Material de cerramiento.

En el interior del invernadero la radiación es el 60 - 80% de la radiación exterior variando según la época del año, geometría de la cubierta, orientación y grado de envejecimiento del material de cubierta. Cuando la cubierta tiene poca pendiente (en los invernaderos tipo parral Almería suele ser menor del 15%), la reducción de radiación es más importante, en proporción, en invierno que en verano (40% y 20% respectivamente) lo que agrava el problema de la luz en invierno.



Posición del sol según la época del año

▲ Fig. 37. Radiación Solar.

La orientación de la cubierta influye no sólo en la cantidad de radiación interceptada, sino también en la uniformidad de la radiación dentro del invernadero. En un invernadero a dos aguas con eje E-O el lado sur puede recibir alrededor del 70% de la radiación exterior mientras el lado norte recibe alrededor de un 50% en época invernal (un 20% menos). Estas diferencias disminuyen hasta anularse a medida que aumenta la elevación del sol (finales de primavera). Como consecuencia, el desarrollo de los cultivos es distinto en ambos lados durante el invierno, dificultando el manejo.

1.1.4.1. Orientación y geometría de la cubierta

► Posibilidades:

- ▼ Plano.
- ▼ Con pendiente ("raspa y amagado"), (multicapilla):
 - Simétrico.
 - Asimétrico.
- ▼ Con cubierta semicircular o parabólica (multitúnel).

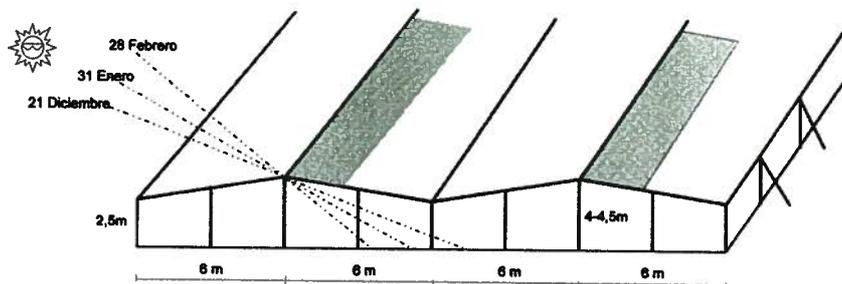
► Consideraciones a tener en cuenta en cada uno de ellos:

INVERNADERO PLANO

- Menor coste, en comparación con otros diseños.
- Fácil colocación del plástico.
- A igualdad de altura es el que menos resistencia ofrece al viento.
- "Facilita" el lavado de sales por el agua de lluvia, situación que normalmente repercute desfavorablemente para el cultivo que esté ocupándolo en ese momento.
- No presenta problemas la evacuación de las aguas de lluvia porque caen dentro de la propiedad.
- Peligro de encharcamiento en tiempo lluvioso y suelos pesados.
- Alteración del contenido de humedad y sales (C.E.) en el suelo, por tanto, problemas para el cultivo: rajado de frutos, movimiento de frentes salinos, etc.
- Arrastre de fitoparásitos de la cubierta al interior del invernadero.

- Mayor peligro de enfermedades criptogámicas.
- Arrastre por la lluvia de productos fitosanitarios.
- Cuando son muy bajos, problemas para los cultivos de porte alto y diferencias térmicas mucho más acusadas además de importantes problemas para ventilar.
- El balance de radiación de un invernadero plano con respecto a otros con la cubierta inclinada es desfavorable en invierno y va anulándose hacia la primavera. Por tanto, con respecto a la radiación, el invernadero plano es claramente el más desfavorable en la época invernal que es justo la que más nos interesa.
- Técnicamente no existen razones que aporten ventajas comparativas del invernadero plano con respecto a otras alternativas existentes.

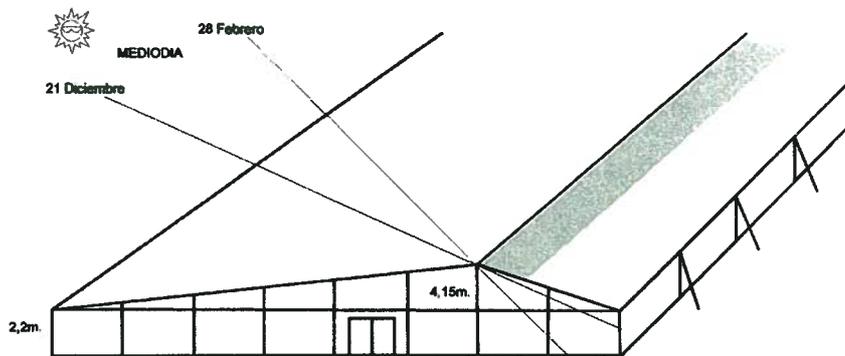
INVERNADERO CON CUBIERTA INCLINADA SIMÉTRICA



▲ Fig. 38. Incidencia de la radiación solar en invierno sobre la cubierta de un invernadero con cubierta inclinada simétrica.

- La cantidad de radiación que capta el invernadero aumenta normalmente con la pendiente de la cubierta hasta el máximo teórico de 45° durante el invierno para ir disminuyendo en primavera y prácticamente anularse en verano.
- Pero este factor normalmente está reñido con la oposición que ofrece al viento y por tanto con la resistencia de la estructura, así como con factores de manejo como pueden ser la colocación del plástico por lo que las pendientes que normalmente se utilizan son pequeñas (15%).
- La orientación del eje N-S o E-O determinará fundamentalmente la homogeneidad de la radiación recibida dentro. Los invernaderos con el eje E-O reciben más luminosidad en el lado sur durante el invierno lo que ocasiona diferencias de crecimiento del cultivo y por tanto dificultades en su manejo.
- En los invernaderos con cubierta inclinada y simétrica parece más recomendable la orientación del eje en la dirección N-S.
- A igualdad de altura con respecto al plano, ofrece mejores condiciones de ventilación y por tanto, mejor "control" de temperatura, humedad relativa y CO₂.
- Permite una fácil evacuación del agua de lluvia.

INVERNADERO CON CUBIERTA INCLINADA ASIMÉTRICA



▲ Fig. 39. Incidencia de la radiación solar en invierno sobre la cubierta de un invernadero con cubierta inclinada asimétrica.

– Uno de los objetivos planteados al diseñar este invernadero fue el de conseguir mejorar la transmisión de luz tanto en cantidad como en homogeneidad, sobre todo en los meses comprendidos entre Octubre y Febrero.

– El diseño de la cubierta consiste en situar el eje en dirección E-O paralelo al recorrido aparente del sol y con el lado sur de mayores dimensiones que el lado norte siendo los ángulos o las pendientes sur y norte calculadas de forma que capte la mayor cantidad de radiación posible incluso en los días más cortos del año. Esto hace que las longitudes que debe tener el lado norte y el lado sur no pueden ser arbitrarias sino que deben guardar unas determinadas relaciones entre sí y con respecto a la altura y dimensiones de cada módulo.

– La forma-orientación de la parcela debe permitir racionalmente su diseño.

– El coste de construcción no debe suponer mayor carestía, ya que puede ser construido con los mismos materiales que otros y tampoco comporta mayor carga de mano de obra.

– Las ventajas comparativas son mayores cuando se instala una sola capilla que cuando se van instalando varias, ya que se van produciendo, en este último caso, más zonas de sombra en el interior.

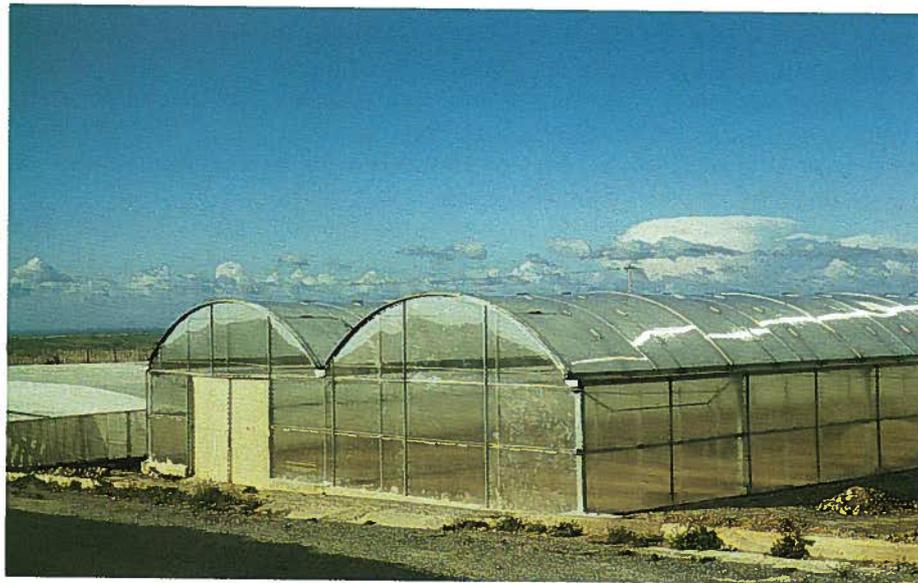
– Al igual que el invernadero con cubierta inclinada simétrica, ofrece buena ventilación y evacuación del agua de lluvia.



▲ Foto 5. Invernadero de cubierta inclinada asimétrica.

INVERNADERO PREFABRICADO DE CUBIERTA SEMICIRCULAR

- Tiene un nivel técnico que puede considerarse a medio camino entre el abrigo simple y la “fábrica de plantas” holandesa.
- Es buen receptor de la luz.
- Tiene una buena estanqueidad, por lo que permite calentar o fertilizar con CO₂ eficazmente.
- Permite una buena automatización en el control climático (apertura y cierre de ventilaciones, colocación de doble techo, etc.).
- Su resistencia al empuje del viento hasta ahora no ha dado resultados del todo satisfactorios.
- La condensación se acumula en las partes superiores del arco donde debido a la escasa pendiente del plástico, el agua no escurre bien por gravedad.
- Hasta ahora sus precios han sido casi prohibitivos (x3 ó x4 el precio del parral) aunque en los últimos años la tendencia es a ser bastante competitivos.
- Este invernadero supone una evolución importante tanto en el campo de las estructuras como en el de la climatización. Técnicamente es la opción mas favorable pero la decisión ha de tener en cuenta si puede o no ser la mas rentable, frente a la alternativa de mejorar los invernaderos sencillos con inversiones relativamente modestas.



▲ Foto 6. Invernadero de cubierta semicircular.

1.1.4.2. Materiales de cerramiento

► Posibilidades:

▼ Rígidos:

- Vidrio.
- Polimetacrilato.
- Policarbonato.
- PVC.
- Poliester con fibra de vidrio.

▼ Flexibles:

- Polietileno (PE).
- Copolímero etil-acetato de vinilo (EVA).

► **Propiedades a tener en cuenta en los materiales de cubierta:**

▼ **Propiedades ópticas**

– **Transmisión de la radiación solar.** La transmisión de la radiación a través de la cubierta influye tanto en el balance energético del invernadero como en la actividad fotosintética del cultivo. Se expresa como porcentaje de radiación transmitido con respecto a la exterior.

– **Calidad de la radiación transmitida.** La radiación recibida directamente desde el sol se denomina radiación directa, la radiación difusa es el resultado de la reflexión y dispersión en la atmósfera y en la cubierta del invernadero. La luz difusa al ser adireccional es mejor aprovechada por las plantas y por tanto mas eficiente para la fotosíntesis.

▼ **Propiedades térmicas**

– **Transmitancia.** Expresa la capacidad termoaislante del material, es decir, la capacidad de evitar que la radiación calorífica (infrarroja) se escape durante la noche. Se expresa normalmente como % de calor que deja escapar. Para que un plástico se considere "Térmico" la transmitancia debe ser menor del 20% del calor acumulado durante el día.

▼ **Propiedades físicas**

– **Peso.** A mayor densidad mas resistente habrá de ser la estructura que lo soporte.

– **Espesor.** Influye sobre todo en la transmitancia. Se mide en micras (μ) o en galgas ($100 \mu = 0,1 \text{ mm} = 400 \text{ galgas}$).

– **Resistencia a la rotura y a la deformación.**

– **Duración.** Para un mismo material disminuye cuanto más cálida sea la región donde se instala. En España la norma UNE 53-328-85 regula las características sobre durabilidad que deben tener los PE que se utilizan en la cubierta de invernaderos.

▼ **Aditivos**

En función de los aditivos que se añaden en la fabricación de las láminas varían las características de los distintos materiales. Algunos de los aditivos más utilizados son:

– **Térmicos.** Permiten mejorar las propiedades termoaislantes del material con lo que se consigue mayor precocidad e incluso evitar inversión térmica.

– **Antigoteo.** Evita que se formen gotas grandes al condensarse el vapor de agua y que haya goteo sobre el cultivo, pero en el mejor de los casos esta propiedad no llega a durar más de una campaña.

– **Larga duración.** Confiere al material menor sensibilidad a las radiaciones ultravioleta por lo que retardan su deterioro y aumentan su durabilidad.

Características de los materiales más utilizados

Material	Espesor (galgas)	Transmisión global luz	Difusión de la luz	Transmitancia	Duración (en Almería)
PE normal sin aditivos	600	89 %	15 %	56 %	8 meses (1 campaña)
PE térmico LD	800	83 %	55 %	15 %	2 años (2 campañas)
PE LD	720	90 %	20 %	> 50%	2 años (2 campañas)
EVA (12% V)	720	90 %	45 %	13 %	2 años (2 campañas)
Tricapa (coextrusionado)	800	82-89 % (*)	35-55 % (*)	15%	3 años (3 campañas)

(*) Información proporcionada por diferentes casas comerciales.

Los materiales rígidos son caros y normalmente se utilizan con estructuras de tipo prefabricado, por lo que en invernaderos sencillos (tipo parral), los materiales de cubierta más utilizados son los de tipo flexible.

– El **EVA** presenta inconvenientes importantes que no lo hacen apropiado en los invernaderos tipo Almería, como su gran adherencia de partículas de polvo y su gran dilatación que dificulta la colocación y manejo. Su mejor propiedad es su excelente efecto térmico.

– Los plásticos **Tricapa** se caracterizan por estar formados por tres láminas lo que permite añadir varios aditivos que no se pueden reunir en un polímero único. Una importante ventaja es su mayor durabilidad, pero no se ha comprobado en que medida se deterioran las propiedades ópticas del mismo hasta el final de su vida útil.

– Los **materiales rígidos** (Policarbonato, PVC, etc.) se utilizan fundamentalmente en instalaciones que requieren un mayor control climático, como semilleros, o para cultivos de primor (rosas, ...), sus principales ventajas son de tipo térmico y de durabilidad, las de tipo óptico varían mucho con el material. Su principal inconveniente es su precio.

▼ Recomendaciones en la colocación del plástico:

- Evitar la colocación durante las horas de más calor.
- No dejar las bobinas a pleno sol antes de su extensión.
- En invernaderos de estructura metálica proteger la zona de contacto del plástico con la estructura para evitar roturas.
- En verano, retrasar la colocación lo máximo posible.
- Al colocar el plástico no forzar su extendido.
- En caso de realizar desinfección de suelo, es recomendable hacerla antes de la colocación del plástico nuevo, ya que tanto los métodos químicos como los físicos deterioran el plástico.

1.1.4.3. Otras Consideraciones a tener en cuenta en el Manejo de la Luz dentro del invernadero

- Características de construcción: debe ser ligera para evitar sombreos sobre el cultivo.
- Densidad de plantación: habrá que disminuirla para cultivos en otoño-invierno, pudiendo ser mayor en primavera.
- Utilizar pantallas de sombreo cuando sea posible colocándolas en el exterior de la cubierta.
- Blanqueo: normalmente se utiliza más para controlar temperatura que radiación, aunque éste es su "efecto secundario". No abusar de los blanqueos ya que las consecuencias, fundamentalmente de ahilado y mala fecundación, pueden ser importantes.
- Tener el plástico limpio durante otoño-invierno: lavar el blanqueo en su momento y el polvo que se acumula en la cubierta.

Hay ejemplos concretos en los que se ha medido la transmisión de radiación en el interior de un invernadero a finales de verano, antes y después de un lavado con manguera a presión, y como consecuencia del polvo acumulado, la radiación transmitida dentro del invernadero pasó a ser del 65% al 79% de la exterior, es decir, la suciedad restaba un 14% de la radiación exterior.

1.2. Temperatura

1.2.1. Importancia y Necesidades de los Cultivos

Puede considerarse como el factor más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro del invernadero, ya que además de influir en la fotosíntesis lo hace también en la mayoría de los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas.

Para el manejo de la misma, es necesario conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada.

El siguiente cuadro recoge las temperaturas, aproximadas, a considerar para el desarrollo de algunos cultivos. Estas temperaturas nos indican los valores objetivo a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y las limitaciones que vamos a tener para su buena marcha.

Especie	Temperatura mínima letal	Temperatura mínima biológica	Temperatura óptima nocturna	Temperatura óptima diurna	Temperatura máxima biológica
Tomate	0 - 2	8 - 10	13 - 16	22 - 26	26 - 30
Pepino	0 - 4	10 - 13	18 - 20	24 - 28	28 - 32
Melón	0 - 2	12 - 14	18 - 21	24 - 30	30 - 34
Calabacín	0 - 4	10 - 12	15 - 18	24 - 30	30 - 34
Sandía	0	11 - 13	17 - 20	23 - 28	30 - 34
Judía	0 - 2	10 - 14	16 - 18	21 - 28	28 - 35
Pimiento	0 - 4	10 - 12	16 - 18	22 - 28	28 - 32
Berenjena	0 - 2	9 - 10	15 - 18	22 - 26	30 - 32
Lechuga	(-2) - 0	4 - 6	10 - 15	15 - 20	25 - 30
Fresa	(-2) - 0	6	10 - 13	18 - 22	—
Clavel	(-4) - 0	4 - 6	10 - 12	18 - 21	26 - 32
Rosa	(-6) - 0	8 - 12	14 - 16	20 - 25	30 - 32
Crisantemo	—	6 - 8	13 - 16	20 - 25	25 - 30

- **Temperatura mínima letal:** aquella por debajo de la cual se produce daño en la planta (heladas).
- **Temperaturas máximas y mínimas biológicas:** valores por encima, o por debajo, de los cuales no es posible que la planta realice correctamente sus funciones, llegando incluso a detener su crecimiento y desarrollo.
- **Temperaturas diurnas y nocturnas:** son los valores deseables para un correcto desarrollo de la planta.

La misión principal del invernadero consiste en acumular calor, al menos en épocas invernales, por lo que la temperatura del interior dependerá, fundamentalmente, de la radiación solar que la estructura sea capaz de **captar y retener**. Esto, implica dos cuestiones importantes, que tendremos que estudiar: la orientación y estructura del invernadero y, por otro lado, el tipo de material a emplear en su cubierta.

En determinadas circunstancias, puede darse el caso de que la temperatura dentro del invernadero sea más baja que en el exterior. Este fenómeno se conoce como **inversión térmica** y suele ocurrir en noches especialmente frías, despejadas, sin viento y en localizaciones concretas. Se produce porque al bajar la temperatura exterior, el invernadero actúa como foco de calor dejando escapar éste y descendiendo así la temperatura interior por debajo de la exterior, si no hay movimientos de aire que la "equilibre". Para amortiguar en lo posible este fenómeno se aconseja utilizar plástico térmico o, si no se dispone de éste, dejar las ventilaciones abiertas en noches que se prevea que pueden darse estas circunstancias.

1.2.2. Aparatos de Medida

Todas las instalaciones deberían contar con termómetros que permitan conocer cómo se comporta cada invernadero y ayuden a tomar decisiones sobre su manejo.

Los más utilizados son los termómetros de máxima y mínima. Algunos instrumentos permiten recoger gráficamente los datos de varios días, son los termógrafos, y si además de la temperatura registran la humedad relativa se denominan termohigrógrafos.

Existen también termómetros para instalar en el suelo o en el sustrato, con posibilidad de registrar los datos o simplemente de lectura.

1.2.3. Manejo de la Temperatura dentro del Invernadero

A continuación veremos los distintos modos de manejar la temperatura en el interior del invernadero, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- **Material de cubierta.**
- **Estructura y orientación del invernadero.**
- **Sistemas para calentar y mantener la temperatura.**
- **Sistemas para bajar la temperatura.**

▼ **Material de cubierta**

Hemos visto las características de los materiales de cerramiento más usados, en el apartado anterior correspondiente a radiación. Podemos destacar, en todo caso, que el plástico térmico contribuye a retener mayor cantidad de calor dentro del invernadero lo que

traerá consigo, mayor precocidad y menor riesgo de heladas, por lo que puede ser el más recomendable para localizaciones especialmente frías.

▼ Estructura y orientación del invernadero

La temperatura está totalmente relacionada con la radiación captada por el invernadero, por lo que sirven aquí todas las consideraciones que se han recogido en el apartado correspondiente a radiación.

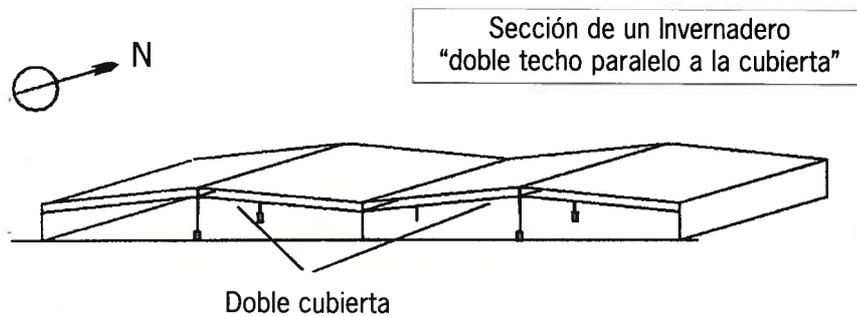
Hay que considerar, además, la importancia de la altura del invernadero sobre el manejo de la temperatura. Un invernadero tendrá mejores condiciones climáticas cuanto mayor sea el volumen de aire por unidad de superficie, ya que su inercia térmica será mayor: se calienta más lentamente y también tarda más en enfriarse. En primavera-verano, también ofrece ventajas al estar el aire más caliente más alejado de las plantas (cubriera).

Las alturas están condicionadas por los vientos dominantes y, lógicamente, por el precio.

Actualmente, la mayoría de los invernaderos tienden hacia un mínimo de 3 m de altura en la banda y 4 m en cubriera.

▼ Sistemas para calentar y mantener la temperatura

- Empleo adecuado de los **materiales de cubierta**.
- **Estanqueidad del invernadero**, consiguiendo las menores fugas posibles.
- La condensación disminuye la pérdida de calor durante la noche; aunque tiene el inconveniente de disminuir la radiación recogida de día y el goteo sobre las plantas.
- **Doble cubierta (doble techo)**, puede ser de PE de 150 ó 120 galgas o bien de manta térmica (polipropileno). Se pueden conseguir varios °C más de temperatura durante la noche, con el inconveniente de que si son fijas y no se retiran durante el día, disminuye sensiblemente la radiación que llega al cultivo y además el invernadero ventilará peor. Su eficacia dependerá del cultivo, del invernadero y de las temperaturas mínimas que se estén presentando.



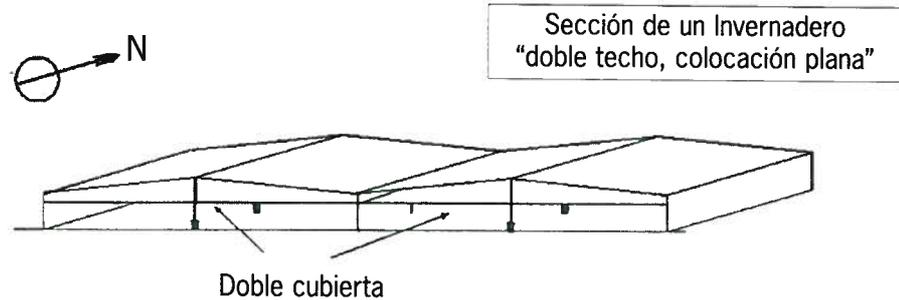
• Ventajas:

- Mayor amplitud.
- Mayor inercia térmica.

• Inconvenientes:

- Poca pendiente.
- Difícil ejecución.

▲ Fig. 40. Colocación paralela a la cubierta del invernadero.



• **Ventajas:**

- Fácil colocación.

• **Inconvenientes:**

- No escurre el agua, por tanto se forman bolsas y hay más goteo sobre las plantas.
- Disminuye la luminosidad.

▲ **Fig. 41.** Colocación plana.

Si está bien colocada la doble cubierta (separada unos 15-25 cm de la superior, con cierta pendiente que facilite que el goteo resbale hacia las canalillas o pasillos y no forme bolsas) se puede conseguir mayor precocidad, evitar el goteo sobre las plantas, evitar heladas e inversión térmica.

El doble techo no son cuatro tiras sueltas, de esta forma no conseguiremos nada y sí tendremos todos los inconvenientes.



▲ **Foto 7.** Colocación de un doble techo.

– **Tunelillos**, consiste en realizar sobre las líneas de cultivo, recién plantadas, un pequeño túnel formado por unos arcos de cabillas que sirven de soporte a una cubierta de plástico térmico de poco grosor; dicha cubierta se ancla al suelo efectuando un surco por los laterales de los arcos en el cual se entierra el borde del plástico. También pueden realizarse con manta térmica. Se suele realizar en siembras muy tempranas en Diciembre-Enero-Febrero.

– **Pantallas térmicas**, reducen la pérdida de calor durante la noche consiguiendo aumentos de temperatura entre 2 y 4°C. Deben ser flexibles y recogerse durante el día. Las mejores son las que están aluminizadas por ambos lados pero son muy caras. Son ideales para ahorrar consumo de calefacción.

– **Cortinas transversales** en los invernaderos en pendiente para evitar que todo el aire frío se acumule en las zonas bajas del invernadero.

– **Calefacción**, es el mejor sistema para mantener o aumentar la temperatura y controlar la humedad relativa. El calor cedido por la calefacción puede ser aportado al invernadero, básicamente, por convección o por conducción; **por convección** al calentar el aire del invernadero y **por conducción** si se localiza la distribución del calor a nivel del cultivo, normalmente mediante tuberías que conducen agua caliente.



▲ Foto 8. Generador de aire caliente.

Sistemas de Calefacción				
Por aire caliente		Por agua caliente		
* Aerotermos. * Generadores de aire caliente (alcance 20 m.). * Generadores y distribución del aire caliente por mangas de P.E. (alcance 50 m.).		A alta temperatura	A baja temperatura	
		* Tuberías aéreas de agua caliente.	* Tuberías enterradas. * Banquetas. * En el suelo, a nivel del cultivo.	
Ventajas	Inconvenientes		Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Rápida respuesta ante cambios de temperatura. - Regulación sencilla de la temperatura. - Alta eficiencia térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo elevado. - Distribución irregular del calor. - Alto consumo de electricidad para los ventiladores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es el sistema de mayor inversión en instalación. - Está prácticamente en desuso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución uniforme del calor. - Materiales económicos para tuberías (P.E. en vez de acero o aluminio al ir el agua a 30-40°C). - Ahorro de energía (al no usar ventiladores). - Se pueden usar energías alternativas (solar). 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores costes de bombeo del agua para una misma cesión de calor. - Son insuficientes para calentar invernaderos en zonas frías. - Coste de instalación más elevado.

Actualmente existen pocos invernaderos con calefacción, si exceptuamos los dedicados a plántulas o semilleros en los que es casi imprescindible, y las razones por las que no se ha extendido su utilización son fundamentalmente económicas:

- Se requieren buenas estructuras que eviten fugas de calor.
- Coste de instalación, automatización y funcionamiento.
- Precios inseguros en la comercialización de hortalizas, con grandes fluctuaciones.



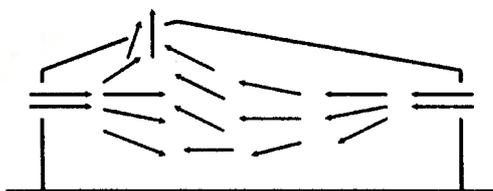
▲ Foto 9. Generador de aire caliente.

▼ Sistemas para bajar la temperatura

• **Ventilación.** Junto con la altura del invernadero, un buen diseño de ventilación son las herramientas más eficaces para el “control” del clima en los invernaderos pasivos. Es necesaria la instalación de ventanas o aperturas cenitales además de las laterales para permitir un eficaz movimiento de las masas de aire.

La superficie dedicada a ventilación debe suponer un 20-30% del total cubierto por plástico, para asegurar un número mínimo de renovaciones por hora incluso aun no habiendo viento.

Todas las aperturas de ventilación deben estar cubiertas con malla anti-insectos para evitar la mayor transmisión de plagas y enfermedades.



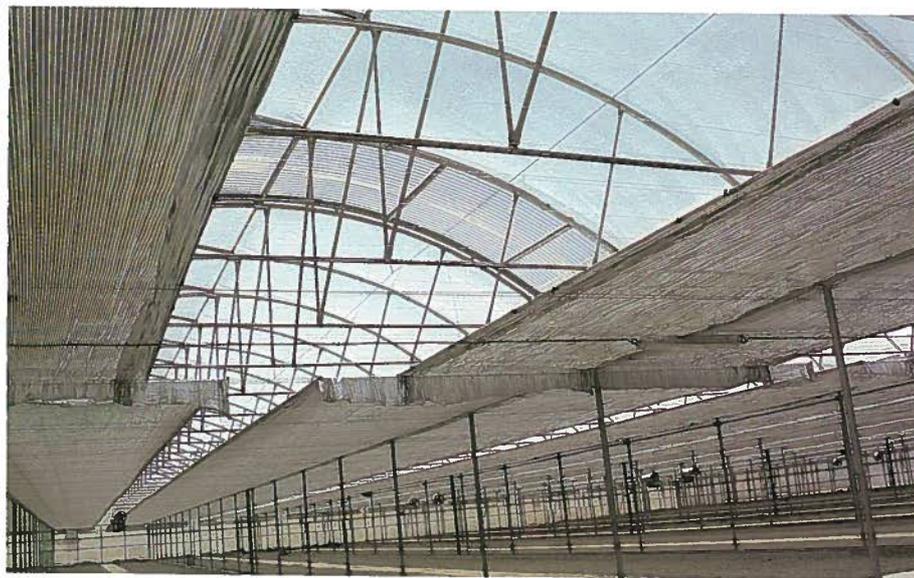
▲ Fig. 42. Ventilación Cenital.



▲ Foto 10. Ventilación cenital.

• **Sombreo.** Pintando la cubierta del invernadero con “Blanco España” (carbonato cálcico) o mediante mallas de sombreado con distintos índices de transparencia (del 40 al 80%), lo ideal es colocarlas en el exterior del invernadero para conseguir mejor efecto en la reducción de temperatura, ya que el exceso de radiación se convierte en calor dentro del invernadero. El sombreado tiene mucha más influencia sobre el clima del invernadero si la ventilación es escasa.

Si se utiliza “Blanco España”, la dosis suele ser de 60 a 80 Kg. por cada 1.000 l. de agua, gastando 1.500 l./Ha. Conviene añadir 2 Kg. de sal por cada saco de “Blanco España” para poder eliminar mejor el blanqueo del plástico cuando necesitemos más luminosidad de cara al invierno.



▲ Foto 11. Malla de sombreo móvil.

- El cultivo mediante la **evapotranspiración**, aporta humedad ambiental y sombreo dentro del invernadero.
- **Sistemas de humidificación:** Fog system, Cooling system, o microaspersión en el interior o sobre la cubierta del invernadero, basados en aumentar el nivel de humedad para hacer bajar la temperatura.

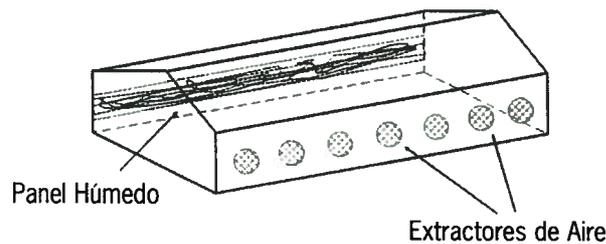
El **Fog system** consiste en crear una niebla sobre el cultivo que permite aumentar la humedad relativa del ambiente. Debido al escaso tamaño de las partículas de agua su velocidad de caída es muy pequeña, de modo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos.

El elemento más delicado de este sistema es la boquilla de nebulización pues de su diseño depende la calidad de la instalación. Las más utilizadas son de dos tipos: de alta presión (40/60 kg./cm²) y baja presión (3/6 kg./cm², ultrasónicas o mezclando aire a 6/8 kg./cm² con agua a 3/5 kg./cm²).

Cooling system: se trata de una pantalla de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego y se sitúa a lo largo de todo un lateral o un frontal del invernadero. En el extremo opuesto se instalan ventiladores eléctricos. El aire exterior entra a través de la pantalla, absorbe humedad y baja su temperatura. Posteriormente, es expulsado por los ventiladores. Es eficaz en naves relativamente estrechas.

La utilización de **microaspersión**, no es recomendable en la mayoría de los casos, ya que el agua líquida puede provocar importantes problemas sobre los cultivos.

Cualquiera de estos sistemas requiere que la ventilación esté abierta mientras está funcionando.



▲ Fig. 43. Cooling System.

1.3. Humedad Relativa

Por el término humedad, entendemos la cantidad de agua en forma de vapor que existe en la atmósfera.

La humedad presente en el ambiente de un invernadero procede de la evaporación del agua del terreno y, también, de la transpiración de las plantas en él cultivadas.

A continuación, se verán, algunos términos importantes para poder definir la humedad relativa del aire.

1.3.1. Conceptos Básicos

- **Humedad:** Es la concentración de vapor de agua que existe en el aire en un momento dado.
- **Humedad absoluta:** Es la cantidad de vapor de agua, expresada en gramos de vapor por metro cúbico de aire, que existe en un momento determinado.
- **Punto de saturación:** Cuando tenemos el aire a una temperatura determinada, se conoce como punto de saturación a la cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire a esa temperatura.

En el aire no se retiene la cantidad de vapor de agua que deseemos, existe un límite. Este límite varía al cambiar la temperatura del aire; cuando aumenta la temperatura aumenta la capacidad del aire para contener vapor de agua. Cuando se alcanza este punto, el vapor de agua se condensa y se transforma en agua líquida.

- **Humedad relativa:** Es la relación entre la humedad absoluta y la humedad en el punto de saturación; o dicho de otro modo: es la cantidad de agua contenida en el aire, con respecto a la cantidad máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

En la siguiente tabla vemos cual es la humedad en el punto de saturación a distintas temperaturas:

°C	0º	10º	15º	20º	25º	30º	35º	40º
gramos de agua por m³ de aire	4,9	9,3	12,7	17,2	22,8	30	39	51

Ejemplo: si contamos con una temperatura de 35° C y una humedad absoluta de 32 g/m³, ¿qué humedad relativa tendremos?

$$\frac{32 \times 100}{39} = 82$$

La humedad relativa es del 82%.

Cuando nos encontramos con la cubierta del invernadero mojada en su cara interna, se debe a que en su superficie se ha alcanzado una humedad relativa del 100%, se ha llegado, en consecuencia, al punto de saturación.

Existe una relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa, así:

– A mayor temperatura, mayor capacidad de contener vapor de agua y por tanto menor humedad relativa.

– A menor temperatura menor capacidad de contener vapor de agua, por tanto mayor humedad relativa.

La humedad relativa del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos ya que afecta a las funciones de la planta y a las condiciones ambientales que determinan el desarrollo de enfermedades criptogámicas (hongos).

1.3.2. Efectos que Produce sobre la Planta una Humedad Relativa Elevada

- Reducción de la transpiración.
- Disminución en la absorción de nutrientes.
- Disminuye el crecimiento.
- Corrimiento de la flor por apelmazamiento del polen.
- Fisiopatías (blosson, etc.).
- Enfermedades producidas por hongos, bacterias,...

1.3.3. Efectos que Produce sobre la Planta una Humedad Relativa Baja

- La transpiración es muy intensa y puede deshidratarse.
- Cierre de estomas con reducción del crecimiento y producción.
- Deficiente fecundación y caída de flores.

En el siguiente cuadro se puede comprobar cuales son los niveles de humedad más favorables para el desarrollo de algunos cultivos:

Cultivo	Humedad relativa %		
	Mínimo	Óptimo	Máximo
Pimiento	50	60	70
Berenjena	45	55	70
Tomate	40	50	60
Calabacín	65	70	80
Melón	60	65	75
Judía	50	60	80
Pepino	60	75	90
Sandía	60	65	75

Es importante en este apartado abordar **el punto de rocío o condensación**. Este fenómeno se produce cuando se dan unas diferencias de temperatura determinadas según cual sea la humedad ambiental. Dicha condensación se puede producir sobre la estructura, los materiales de cubierta del invernadero o sobre la planta.

El rocío sobre el material de cubierta va a producir un goteo sobre la planta con la consiguiente proliferación de enfermedades. Dicha condensación permite durante la noche una menor fuga de calor, aunque durante el día va a reducir la transmisión de radiación solar al interior del invernadero.

Las dobles cubiertas, creando una cámara de aire, evitan la formación del agua de condensación en el interior del invernadero, con el inconveniente de la pérdida de luminosidad.

Cuando la condensación se produce sobre la planta y frutos, por incrementos rápidos de la temperatura ambiental, puede producir enfermedades fúngicas. Para evitar dicho efecto, la solución pasa por contar con sistemas de calefacción que nos permitan manejar correctamente la temperatura ambiente.

1.3.4. Aparatos de Medida

- Higrómetro (puede ir en la base del termómetro).
- Higrógrafo (permite registrar las lecturas).

1.3.5. Manejo de la Humedad Relativa dentro del Invernadero

Es importante para el manejo del clima, conocer cómo se genera la humedad en el interior del invernadero y así poder tomar decisiones para conseguir un aumento o reducción de la misma:

- Evaporación del agua del suelo.
- Transpiración de las plantas.
- Influencia de la humedad ambiental del exterior.

• Sistemas para aumentar la HR

- Humidificación con Fog System, Cooling System, microaspersión.
- Sombreo para reducir temperatura.

• Sistemas para reducir la HR

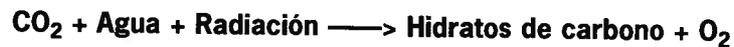
- Ventilar el invernadero.
- Aumentar temperatura con calefacción.
- Cobertura del suelo con acolchados.

1.4. Dióxido de Carbono

1.4.1. Importancia y Generalidades

El carbono es un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas. Un 40% de la materia seca de las plantas es carbono. Las plantas obtienen el carbono por los

estomas a partir del CO_2 de la atmósfera. El CO_2 es utilizado por las plantas en el proceso de la fotosíntesis:



El aire está compuesto en su mayor parte por N_2 (77%) y O_2 (21%) el CO_2 supone sólo un 0,03% equivalente a unas 350 - 360 ppm actualmente.

La tasa óptima de fotosíntesis para la mayoría de los cultivos se da entre 600-900 ppm (para algunos 1.200 ppm). En torno a 600 ppm es la concentración que, sin ser la que se produce la mayor tasa de asimilación, es la que generalmente proporciona los mejores rendimientos económicos cuando se aplica el enriquecimiento carbónico.

En el interior del invernadero la concentración de CO_2 puede ir disminuyendo notablemente durante el día con respecto al exterior, sobre todo en invernaderos poco ventilados y con cultivos de porte alto y puede llegar a ser un factor limitante en el desarrollo de las plantas.

En invernaderos más estancos que los que normalmente se construyen, puede ser rentable aumentar la concentración de CO_2 hasta el nivel deseado a base de quemar propano, butano, parafinas exentas de azufre, etc, o inyectar el gas puro almacenado en bombonas. No obstante, aunque no se utilice fertilización carbónica, debe tenderse a igualar el nivel de CO_2 dentro del invernadero con el del exterior, para lo cual es importantísimo una buena ventilación.

Los niveles óptimos de CO_2 van a estar en función de la especie o variedad que estemos cultivando, de la radiación, de la ventilación, temperatura y humedad.

1.4.2. Métodos para Aumentar el Nivel de CO_2 en los Invernaderos

- Aumentar la ventilación.
- Fertilización a partir de combustión de distintos combustibles fósiles e incluso con los gases de combustión de la calefacción.
- Fertilización con gas puro inyectado.

En caso de utilizar fertilización carbónica podemos considerar las siguientes recomendaciones:

- Hay que instalar sensores que permitan la detección del gas para evitar niveles altos.
- Utilizar combustibles que no emitan gases tóxicos como azufre.
- Inyectar el gas sólo durante el día pues durante la noche no hay consumo.
- No inyectar con ventilaciones abiertas, puesto que lo vamos a perder, o bien, reducir los niveles.
- Elegir un sistema de reparto que permita la máxima uniformidad entre el cultivo.

2. Estructuras de Invernaderos

2.1. Introducción

El invernadero es una construcción que se caracteriza por poseer:

- Una cubierta transparente a las radiaciones necesarias para la vida de las plantas.
- Dimensiones apropiadas para las especies a cultivar y para trabajar cómodamente en su interior.
- Un sustrato natural o artificial con provisión de agua.
- Aberturas que permitan intercambios de aire con el exterior.
- Eventualmente también se pueden agregar dispositivos para evitar valores extremos no deseados en los parámetros climáticos, por ej. calefactores o ventiladores.

Podemos considerar dos partes bien definidas en un invernadero:

- La estructura.
- El material de cerramiento.

Con respecto al material de cerramiento hemos comentado en el capítulo anterior algunas propiedades de los materiales más utilizados, por lo que en éste nos vamos a dedicar fundamentalmente a la estructura, materiales de construcción, etc.

2.2. Consideraciones sobre su Emplazamiento

A continuación se citan criterios a tener en cuenta en el momento de elegir cual es el mejor emplazamiento de un invernadero:

- En suelo saneado, sin peligro de encharcamiento.
- Protegido de los vientos dominantes y corrientes de aire del Norte normalmente fríos.
- En zonas donde con frecuencia existan fuertes vientos, el largo del invernadero no se debería construir perpendicular a la dirección del viento dominante, situando en contra del viento la fachada más pequeña.
- Con disponibilidad de agua.
- Siempre en solana, evitando las zonas donde se pierdan horas de luz.
- Nunca en vaguada, se asientan las nieblas y fríos, existiendo mayor peligro de heladas.
- Alejado de sombras de edificios y árboles.
- Lejos de caminos polvorientos, ensucian el plástico evitando que penetren los rayos solares.
- Ojo con la textura del terreno, vienen los problemas de asfixia de raíces y mal de cuello.
- Con luz eléctrica o posibilidad de instalarla, necesaria para automatizar, manipular frutos, realizar alguna labor nocturna, etc.

- Es necesario que el suelo tenga la pendiente adecuada para el sistema de riego a implantar, evitando exceso de sectorización y buscando uniformidad y economía en el riego.
- Evitar que dentro del invernadero existan zonas más altas, éstas presentan temperaturas mayores, con lo cual tendremos desfases en el desarrollo del cultivo.

2.3. Materiales de Estructura

La estructura de un invernadero puede estar constituida por diversos materiales, entre los más comunes se encuentran la madera y el metal.

Cuando se proyecta construir un invernadero, generalmente influye mucho en la decisión la inversión inicial por lo que hasta hace muy poco el material más empleado ha sido la madera. Actualmente se tienen en cuenta también otros criterios de gran importancia como son el mantenimiento posterior de las instalaciones (en el caso de la madera muy superior al metal), la vida útil de las mismas, las condiciones ambientales en el interior de la estructura (luminosidad), la limpieza, etc.

Para seleccionar uno u otro material habría que tener en cuenta los siguientes factores:

- Durabilidad, resistencia a la humedad, agentes corrosivos, etc.
- Resistencia mecánica.
- Ligereza del material.
- Precio.

Los materiales empleados para la estructura de invernaderos son:

- Madera (pino, eucalipto, etc.).
- Hierro.
 - Tubos huecos de hierro galvanizado y perfiles de hierro laminado (IPN, IPE).
- Aluminio.
- Viguetas de hormigón pretensado.
- Alambre.
- Cable o hilo de materiales sintéticos.

Cuando se opta por la utilización de madera siempre hay que tener presente que ésta se encuentre convenientemente tratada, asegurando su mayor duración.

La madera está siendo sustituida progresivamente por los tubos de hierro galvanizado, debido a que tiene una mayor duración, resistencia mecánica, ofrece menos sombras a los cultivos, y por que existe un acercamiento de precio entre ambos materiales.

El galvanizado es una película de cinc con la cual se protege al hierro o al acero contra la corrosión. Es fundamental la calidad de este galvanizado (espesor y galvanización interior).

El invernadero “**multitúnel**” utiliza casi exclusivamente el hierro galvanizado como material de estructura. Este invernadero goza cada vez más de gran aceptación para la producción de flor cortada y planta ornamental en maceta, aunque también está aumentando considerablemente su utilización para cultivos hortícolas.

Las características más generalizadas de un invernadero prefabricado multitúnel se pueden resumir así:

- Pilares de tubo de hierro galvanizado de 60 mm de diámetro y alturas de 2,5, 3 y 3,5 m de espesores de pared de 1,5, 2 y 3 mm respectivamente.
- Separación entre pilares: 2 m en el perímetro y 4 m entre pilares interiores.
- Arcos de tubo curvado de 60 mm de diámetro separados cada 2 m.
- Canales de 20 a 25 cm de ancho. Pendiente recomendada de 0,25%.
- Cimentación recomendada para altura de canal de 2,5 m: zapata de hormigón de 70 cm de profundidad x 40 x 40 cm.
- Ventilación lateral continua por tubería que enrolla el plástico.
- Ventilación cenital continua opcional. Correas dentadas y cremalleras.
- Unión del plástico a la estructura por medio de perfiles acanalados de acero o aluminio en los que encajan a presión piezas de madera, plástico o aluminio.

Las características de los materiales más comúnmente empleados en invernaderos no prefabricados, derivados del invernadero “**tipo parral**”, son:

- **Perímetro o bandas:**
 - Tubo hueco de hierro galvanizado de 3” y 2,2 mm de espesor mínimo.
 - Viguetas de hierro IPN 80-100-120.
 - Redondos de eucalipto de 14-20 cm de diámetro.
- **Soportes centrales:**
 - Tubo hueco de hierro galvanizado de 2,5” y 2,2 mm de espesor mínimo.
 - Poste de hormigón pretensado de 6 x 6 cm.
 - Redondos o pies derechos de eucalipto de 10-12 cm de diámetro.
- **Alambres:**
 - Amagados y vientos (o tensores): de 4,4 mm.
 - Tejido superior:
 - Llano de 2,40 mm., tejido con 2 mm. formando cuadros.
 - Trenza de 2 o 3 hilos de 3 mm.
 - Cerco con trenza de 3 hilos de 3 mm.
 - Tejido inferior:
 - Llano de 2 mm., tejido con 1,8 mm. formando cuadros.
 - Trenza de 3 hilos de 3 mm.
 - Bandas:
 - Llano de 2,4 mm., tejido con 2 mm., formando cuadros.
 - Trenza de 3 hilos de 3 mm en la parte central e inferior.

Cuando se construye un invernadero la mayor fuerza (resistencia mecánica) se le da en las esquinas, posteriormente en las bandas expuestas a los vientos dominantes, seguidamente en el resto de bandas y donde menor resistencia requieren es en el centro.

La mayor o menor fuerza va en función del diámetro de los materiales empleados y la mayor o menor separación entre ellos.

El alambre, como material de sujeción del plástico, tiene una alternativa en cables o hilos de materiales sintéticos, los cuales nos ofrecen algunas ventajas frente al uso de alambre:

- Garantizan una resistencia mecánica similar al acero.
Veamos datos comparativos:

alambre galvanizado.	40 - 48 Kg./mm ² .
hilo sintético	55 Kg./mm ² .

- No se oxida.
- Los fabricantes garantizan la resistencia ante la exposición de los rayos ultra violeta del sol por períodos superiores a los 15 años.
- No quema es plástico al no calentarse tanto como el acero ante la exposición continua al sol.
- Conserva la tensión durante muchos años, evitando que el plástico haga bolsas.
- Mayor facilidad de manejo.
- Tiene un buen comportamiento ante el viento, dado que permite un cierto alargamiento.

2.4. Dimensiones

Las dimensiones de los invernaderos son variables. Cabría pensar que el invernadero debería cubrir la mayor superficie posible, teniendo en cuenta que cuanto mayor superficie cubramos con un invernadero menores, proporcionalmente hablando, serán las pérdidas de calor a través de paredes y techo, además de un menor coste por m². Pero el tamaño del mismo viene limitado en principio, por las necesidades de ventilación.

Los invernaderos tipo parral tienen una gran capacidad para adaptarse a cualquier terreno, no teniendo limitaciones en cuanto a su forma, dimensiones e incluso nivelación del terreno. Nos encontramos con invernaderos que presentan desde poco más de 1.000 m², hasta invernaderos que superan la hectárea.

Cuando se proyecta la construcción de un invernadero, es necesario tener en cuenta que la relación largo/ancho juega un papel muy importante en el microclima que se genera en su interior. De esta relación depende la superficie expuesta del invernadero, es decir los m² de pared que están en contacto con el clima exterior. A mayor superficie expuesta mayores pérdidas de calor en épocas de bajas temperaturas y mayor cantidad de plástico es necesario para el cerramiento de la estructura. Por otra parte, a menor superficie expuesta mayores problemas para asegurar la ventilación pasiva.

Se pueden dar algunas cifras de forma muy general:

▼ Ancho

- Invernaderos muy estrechos (menos de 20-22 m) son invernaderos fríos, pierden el calor rápidamente.

– Invernaderos muy anchos (más de 40-50 m) pueden presentar problemas de ventilación, sobre todo si carecen de ventilación cenital.

Esta limitación tienen más importancia en invernaderos planos, ya que en estos la ventilación cenital, si existe, es menos eficaz. En términos generales son preferibles invernaderos estrechos y alargados y en cualquier caso el tamaño máximo por invernadero no debería superar los 5.000 m² de superficie.

▼ Alto

Teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en la construcción, hay que considerar que a mayor altura mayor volumen de aire es calentado durante el día y más lento será el descenso de temperatura durante la noche, es decir, mayor inercia térmica. Con igual altura en la cumbre, los invernaderos de techo curvo siempre encierran más volumen interior que los de techo a dos aguas.

Se aconseja que el **volumen unitario del invernadero** (volumen interior m³/superficie de suelo cubierta m²) en ningún caso sea inferior a 3.

	Altura Cercos - Cumbre		Anchura Módulo - Total	
Plano	3 - 3,5 m		40 - 50 m	
Simétrico	2,5 - 3 m	3,7 - 4,5 m	10 - 15 m	40 - 50 m
Asimétrico	2,5 - 3 m	3,7 - 4,5 m	7 - 15 m	40 - 50 m

* Dimensiones más corrientes.

2.5. Geometría de la Cubierta

La forma debe de ser tal que permita aprovechar al máximo la radiación solar.

Mediciones realizadas en diversas situaciones demuestran que los techos curvos transmiten mayor cantidad de luz que los planos, y que en éstos, la pendiente influye notablemente.

La elección de la pendiente adecuada en los techos a dos aguas favorece la entrada de luz al invernadero. Las experiencias realizadas en la zona mediterránea europea indican que en época invernal, el techo plano es el más desfavorable; a medida que aumenta la pendiente aumenta la transmisibilidad hasta un máximo situado entre 20 y 30° para luego decrecer. En verano, prácticamente no hay diferencia entre el techo plano y el inclinado a 45°.

En la mayoría de los invernaderos los laterales suelen ser planos, y la forma y pendiente de la cubierta puede ser:

• De cara plana

- Una vertiente inclinada (diente de sierra).
- Una vertiente horizontal (plano).
- Dos vertientes: Simétricos y asimétricos.



▲ Fig. 44. Invernadero plano.



▲ Fig. 45. Invernadero a dos aguas "Simétrico".



▲ Fig. 46. Invernadero a dos aguas "Asimétrico".

La forma de fijar las cubiertas plásticas flexibles (como el polietileno) más frecuentemente empleada es el alambre, conociéndose la técnica de fijación del plástico al alambre como "punteado" o poner "puntos de alambre". Con estos "puntos" el plástico se fija entre los tejidos superior e inferior ofreciendo una buena resistencia al viento.

Esta técnica tiene como inconveniente que el plástico se perfora, lo que hace perder estanqueidad al invernadero y permite la entrada de agua al interior del mismo.

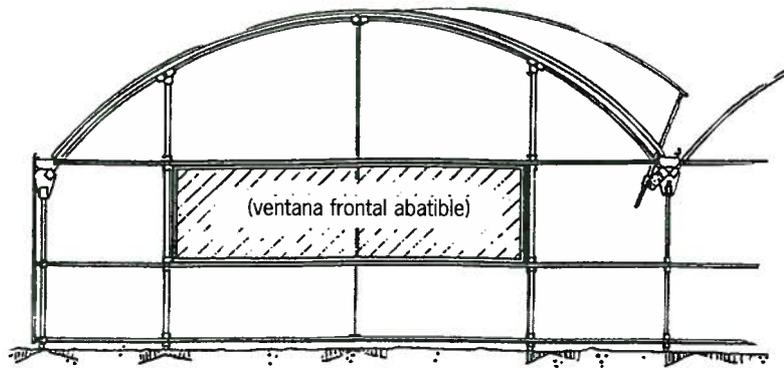


▲ Foto 12. Estructura metálica de un invernadero de cubierta inclinada asimétrica.

- **De cara curva**

Existiendo diversos tipos según sea su curvatura, como semicircular, parabólica, etc.

Las formas curvas presentan un mejor aprovechamiento de la luz solar. Este tipo de cubiertas sólo son empleadas en invernaderos prefabricados, hasta ahora menos extendidos en zonas muy meridionales (como el sur de la península) debido a que representan grandes inversiones. Por contra son los predominantes en zonas más septentrionales, donde los inviernos son más fríos y se hace necesario un mejor aprovechamiento de la luz solar, además de proporcionar una mayor estanqueidad frente a las pérdidas de calor, pese a las inversiones necesarias.



▲ Fig. 47. Invernadero de cubierta semicircular.

Cuando se emplean materiales de cerramiento flexibles en estos invernaderos, se fijan a la estructura mediante elementos de sujeción resistentes y fáciles de manejar, utilizándose diferentes tipos de cuñas o perfiles de sujeción (omegas), sin necesidad en este caso de perforar el plástico. Este tipo de cubiertas permite utilizar una doble lámina de plástico que puede ser muy útil como aislante térmico gracias a que se puede hinchar mediante aire a presión, consiguiendo de esta forma un importante ahorro energético en caso de utilizar calefacción.

Otra ventaja de este tipo de invernaderos es que se prestan sin ningún inconveniente a utilizar materiales de cerramiento rígidos.

2.6. Contratación

Al igual que si se tratara de otro tipo de construcción y sobre todo por la importancia de la inversión a realizar, sería deseable en el momento de la contratación exigir dos cosas:

- Proyecto de construcción del invernadero.**
- Contrato escrito entre ambas partes, contratante y contratado.**

La documentación anteriormente mencionada debería al menos contar con una serie de puntos que a continuación se describen:

a) PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO

- **Antecedentes**

En este apartado se indica cual es la finca a transformar, su localización y el encargo, número de invernaderos, tipo y dimensiones.

- **Descripción de las obras**

Se incluirá una memoria donde se describirá cada parte de la obra, indicando de los materiales emplear: dimensiones, tipos, calidades, etc.

- **Presupuesto**

El presupuesto deberá de constar al menos de los siguientes apartados:

- Mediciones.
- Presupuestos parciales, desglosando los distintos capítulos y unidades de obra con precios descompuestos.
- Resumen de presupuestos.
- Presupuesto general, con I.V.A. desglosado.

- **Planos**

Estos serán lo suficientemente detallados, como para que el constructor sea capaz de realizar la obra tal cual ha sido proyectada.

b) CONTRATO ESCRITO

En él ambas partes deben de hacer constar algunos aspectos tales como: fechas y plazos de ejecución de las obras, presupuestos y forma de pago.

El contrato debe de estar debidamente firmado por contratante y contratado.

2.7. Ejemplo de Proyecto de Construcción de Invernadero

▼ ANTECEDENTES

A petición de D. José Gómez Espinosa con DNI.: 0.000.000 y domicilio en Alcaudique (Berja-Almería), se redacta este Proyecto de construcción de un invernadero asimétrico en dicho término municipal, en el paraje conocido como "el pocillo".

El propietario desea construir dos invernaderos de 5.000 m² cada uno.

▼ DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

- **Bandas**

Las bandas serán de vigueta galvanizada IPN-100 de 3,5 m. de longitud, de tal forma que la altura del cerco sea de 3 m. La separación entre viguetas será de 2,2 m. en la banda este-oeste, y 1,6 m. en la banda norte-sur. Las viguetas estarán arriostradas con perfil "L" de 60-6 galvanizado.

Los tensores serán cabillas de 16 mm. de diámetro, soldadas en la parte superior a la viga y al perfil "L", y en la parte inferior irán hormigonados 2 m. por debajo del nivel del suelo. Los tensores serán directos.

- **Soportes centrales**

Serán de tubo galvanizado de 2,5" de 3,75 m. de altura, sobre bloques de hormigón, de tal forma que la altura total del invernadero en su cumbrera sea de 4 m.

- **Amagados y canalillas**

Estarán formados por dos hilos de alambre dulce de 4,4 mm., sujetos al suelo por una cabilla de diámetro de 16 mm. y una profundidad de 1,5 m.

Las canalillas serán de chapa galvanizada sujetas con ganchos galvanizados.

- **Capilla asimétrica**

La distancia del amagado a la raspa será de 6,4 m. en el lado sur, y de 3,3 m. en el lado norte, formando la cubierta un ángulo de 9 grados en el lado sur y 17 grados en el lado norte.

- **Tejido superior e inferior**

- Tejido superior.
 - Llano de 2,4 mm., tejido con 2 mm.
 - Trenza de 2 hilos encima de los amagados.
 - Hebras de 3 mm. de poniente a levante y trenza de 2 hilos de norte a sur.
- Tejido inferior.
 - Llano de 2 mm., tejido con 1,8 mm.
 - Trenza de 3 hilos en ambas direcciones.

- **Tejido de bandas**

- Llano de 2,4 mm., tejido con 2 mm., formando cuadrículas.
- Trenza de 2 hilos en la parte inferior y centro.

- **Entutorado**

- Trenza de 2 hilos de poniente a levante, en raspa y amagados, con dos hebras de 2,4 mm. a ambos lados de los tubos, en dirección norte-sur.
- Tubo galvanizado de 2 m. de altura en los amagados.

- **Puertas**

Dos puertas correderas de chapa galvanizada.

- **Plástico y ventilación**

El plástico será de tres campañas en cubierta y bandas. Se colocará malla mosquitera en las ventanas de ventilación.

La ventilación será manual de manivela cenital y lateral. La ventilación cenital se hará en seis cumbreras, en la cara norte con dirección este-oeste en cada invernadero.

▼ PRESUPUESTOS

- **Presupuesto de una unidad de obra**

Valga como ejemplo el presupuesto de una de las unidades de obra.

Nº de unidades de obra	Clase de obra	Precio de la unidad pts.	Importe pts.
	<u>Amagados y canalillas</u>		
495 unid.	Ganchos	300	148.500
650 Kg.	Alambre de 4,4 mm	106	68.900
1.000 m.	Tubo galv. 1"	110	110.000
1.100 m.	Canalillas	180	198.000
		Total.....	525.400

• **Resumen general de presupuestos**

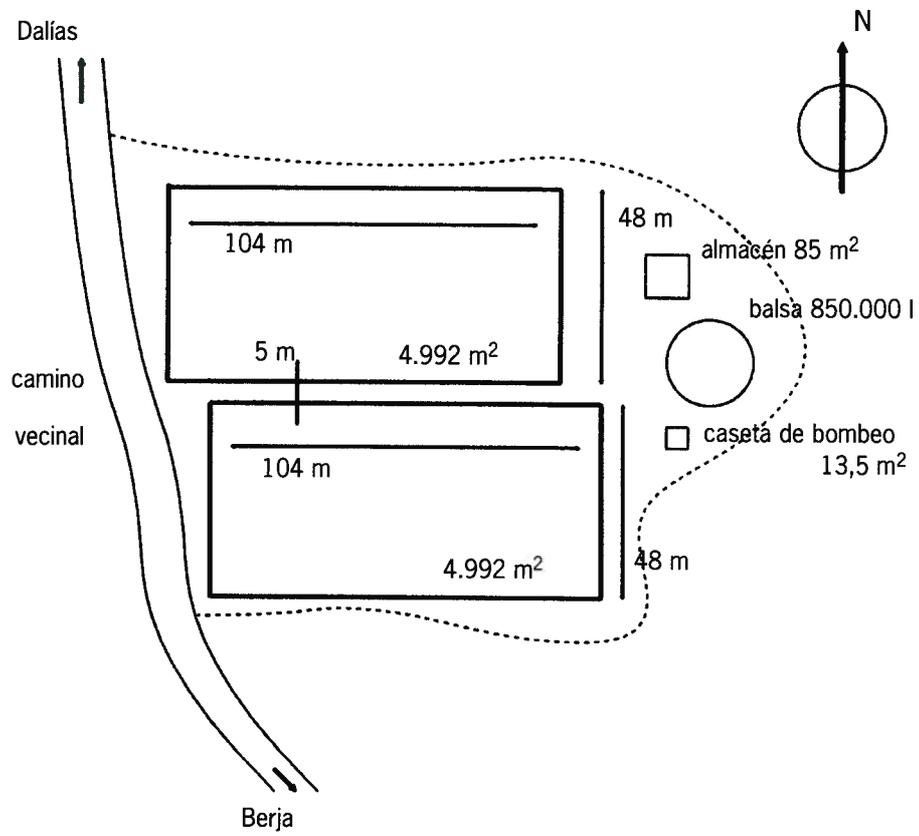
- Cimentación	1.321.000
- Amagados y canalillas	525.400
- Bandas	1.189.660
- Alambres y plásticos	2.850.000
- Soportes centrales	1.105.360
- Ventilación y varios	785.640

Total ejecución material7.777.060
(I.V.A. no incluido)

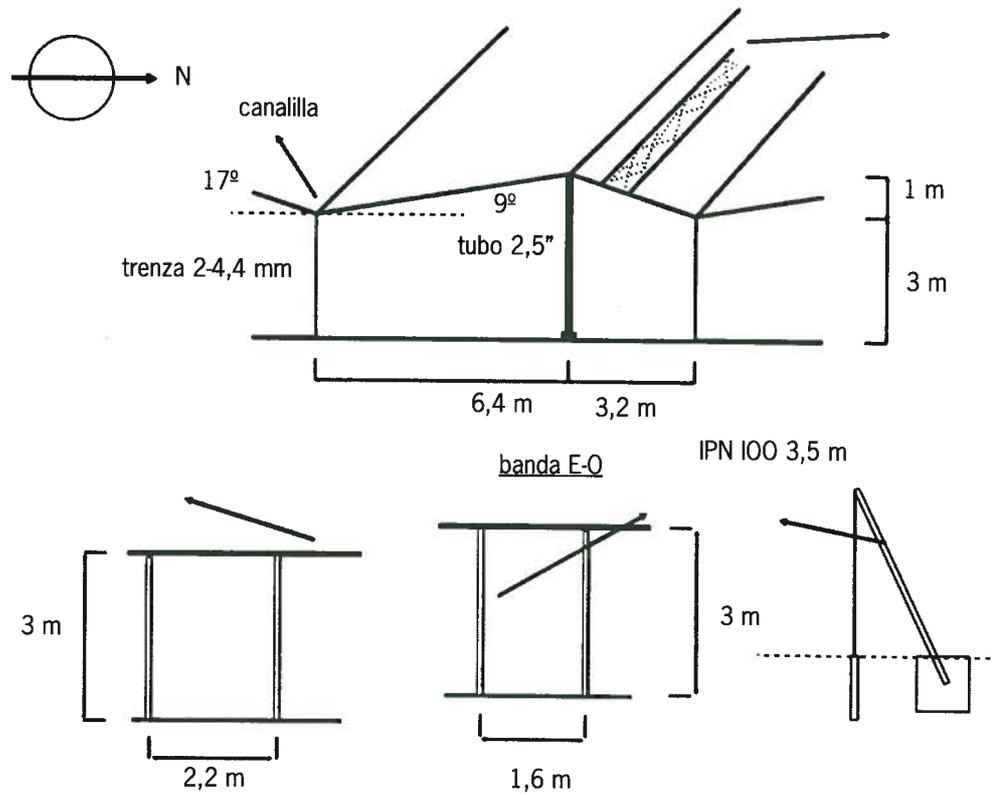
firma del técnico proyectista

▼ **PLANOS**

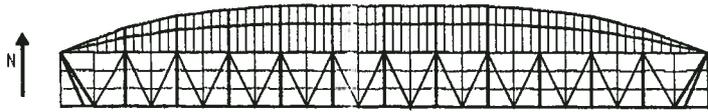
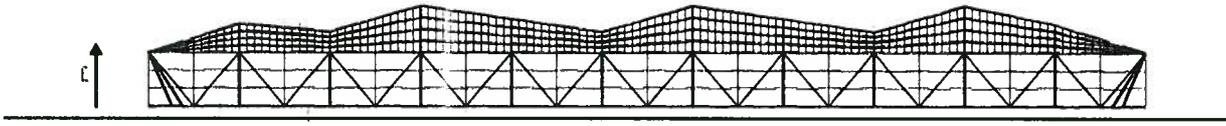
El proyecto debe de contar en su documentación con un conjunto de planos que describan las obras a realizar, a continuación como ejemplo se incluyen algunos que integrarían esta documentación.



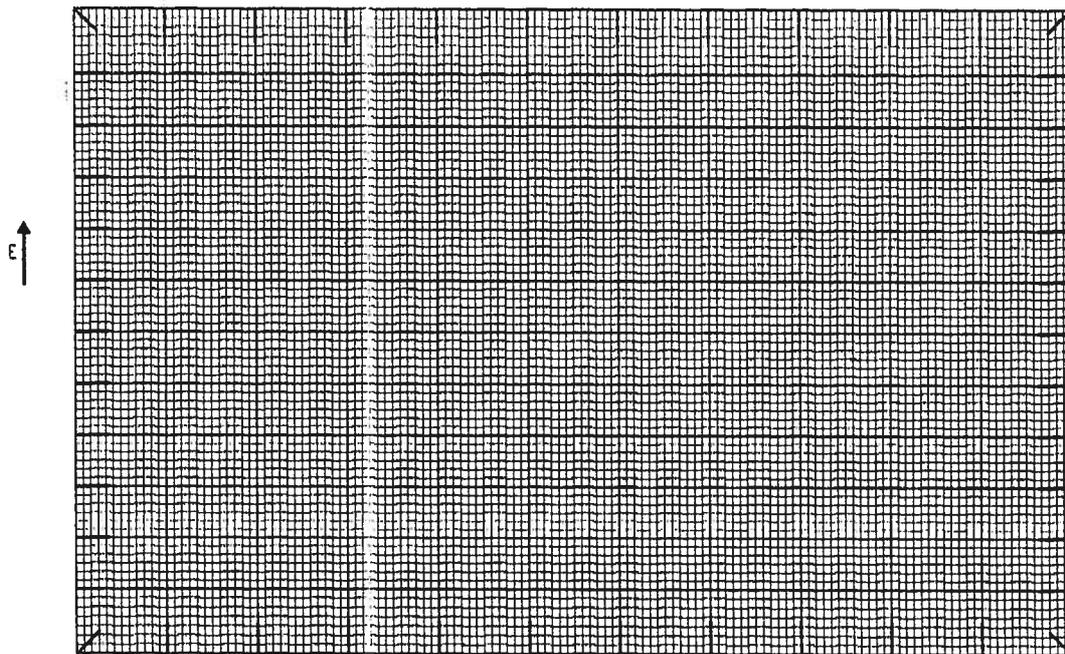
▲ Fig. 48. Planta General de Instalaciones.



▲ Fig. 49. Sección y Detalles.

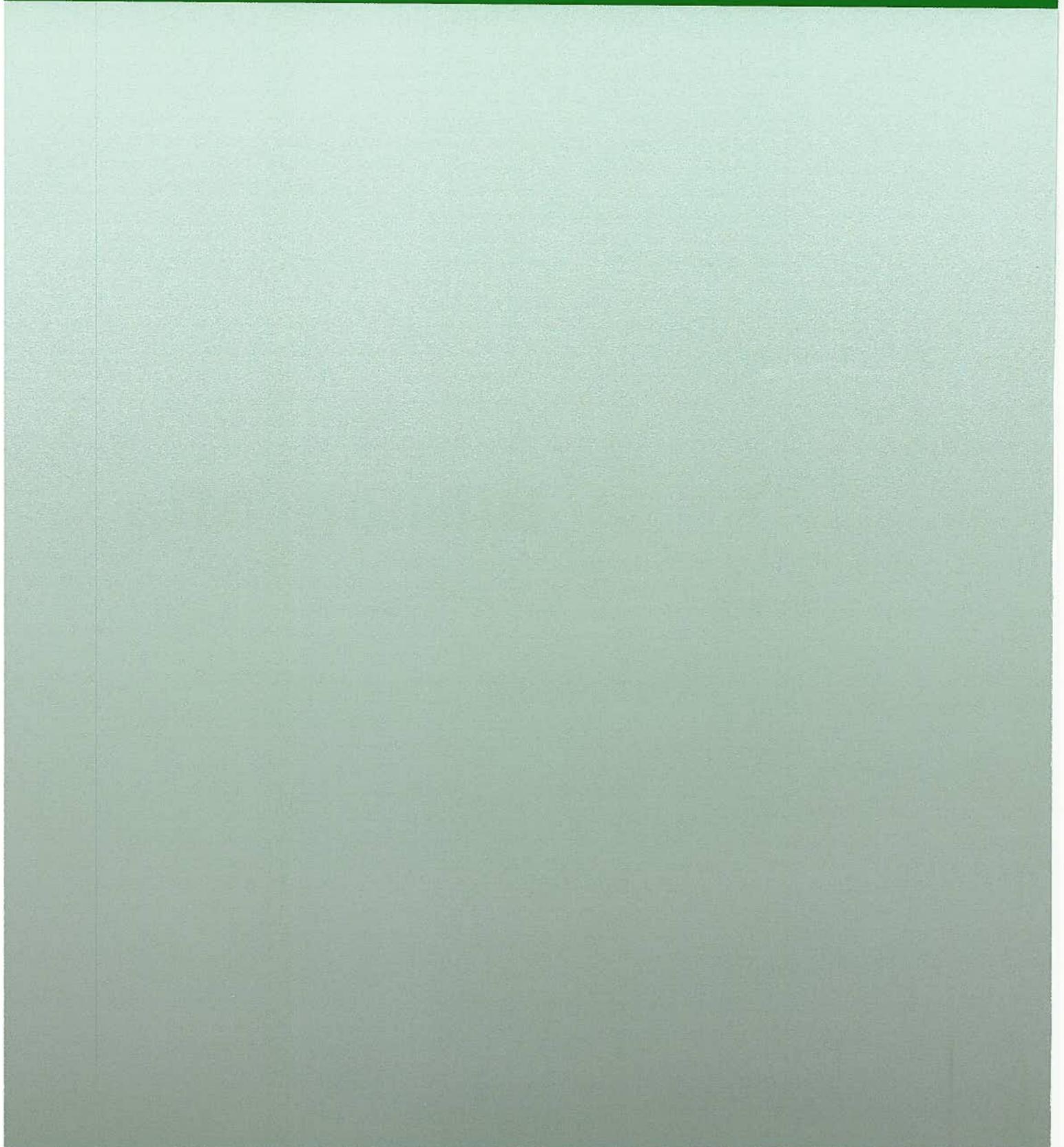


▲ Fig. 50. Alzado.



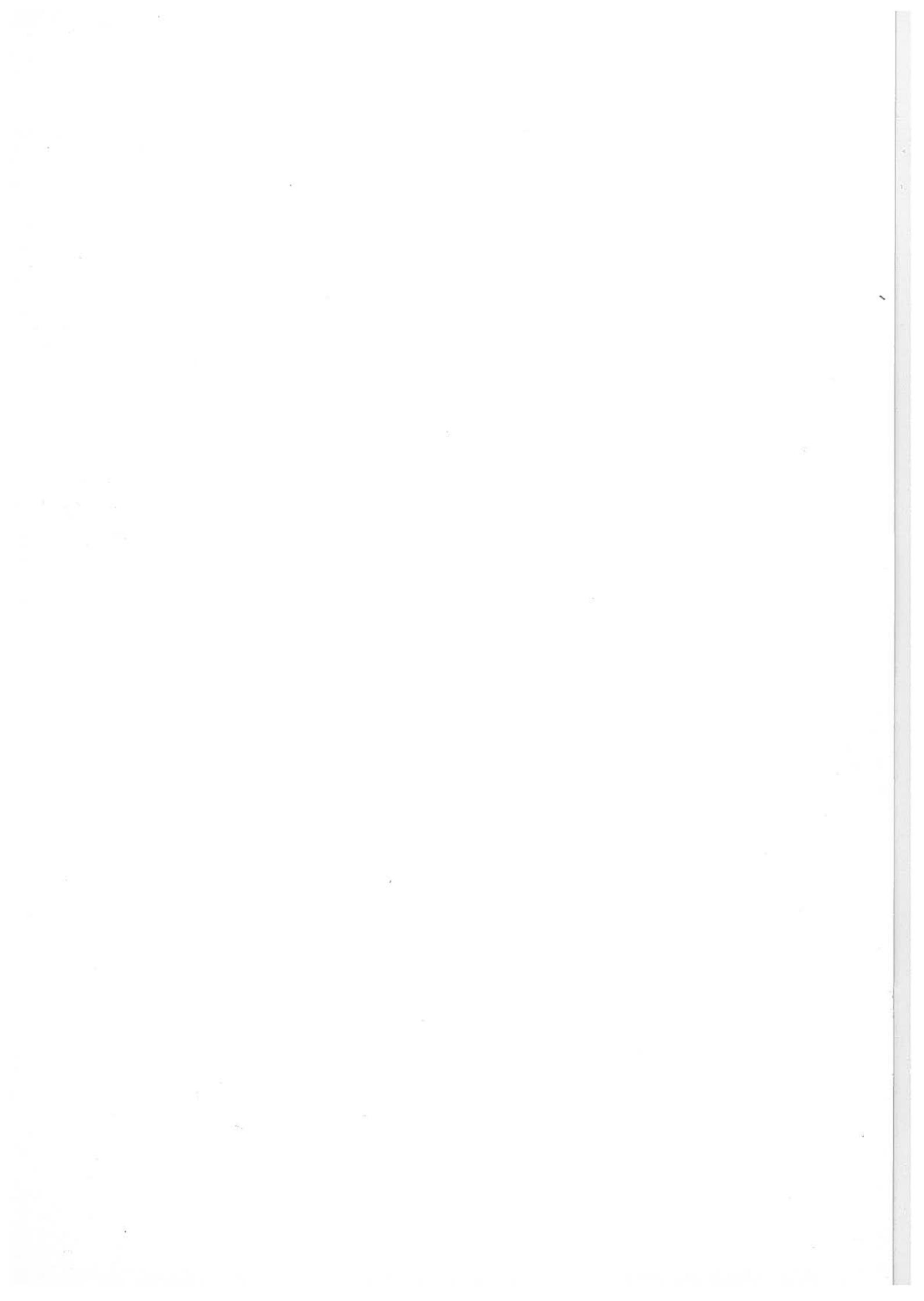
▲ Fig. 51. Planta.

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes sobre suelos. Publicaciones de Extensión Agraria.
- Curso sobre fertilización, 1.ª Parte. Unión Explosivos Riotinto.
- El Abonado de los cultivos. Domínguez Vivancos A., 1990. Mundi Prensa.
- El suelo y los fertilizantes. Fuentes Yagüe, José Luis, 1989. Ministerio de Agricultura y Pesca.
- Tecnología de Invernaderos, Curso Superior de Especialización. Díaz Álvarez, J.R. y Pérez Parra, J. 1994. FIAPA, Consejería de Agricultura y Pesca-Junta de Andalucía.
- Cultivos sin Suelo, Curso Superior de Especialización. Díaz Álvarez, J.R. y Cánovas Martínez, Francisco. 1994. FIAPA, Consejería de Agricultura y Pesca-Junta de Andalucía.
- Cultivo de hortalizas en clima mediterráneo. 1993. García Lozano, M. y Capdevilla Martínez, E. Ediciones de Horticultura.
- Hoja divulgadora nº 5/93 HD Interpretación de análisis de suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.



AGRICULTURA



GANADERÍA



PESCA Y ACUICULTURA



POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIAS



FORMACIÓN AGRARIA



CONGRESOS Y JORNADAS



R.A.E.A.



ISBN 84-89802-25-4



9 788489 802254

P.V.P.: 2.200 ptas.

13,22 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca