

UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS



DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA VEGETAL

**EQUILIBRIOS NUTRICIONALES  
EN CONDICIONES DE INVERNADERO:  
CORRECCION Y MEJORA DE LA COSECHA**

JOSE MIGUEL GUZMAN PALOMINO

TESIS DOCTORAL

GRANADA 1987



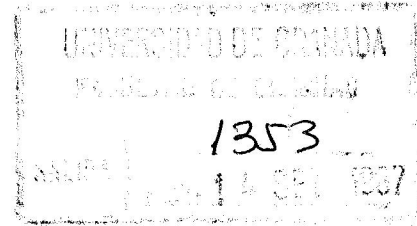
01533598

R. 33.364

T  
12  
27

UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

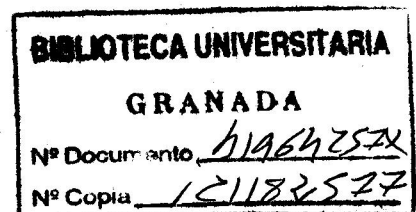


DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA VEGETAL

**EQUILIBRIOS NUTRICIONALES  
EN CONDICIONES DE INVERNADERO:  
CORRECCION Y MEJORA DE LA COSECHA**

JOSE MIGUEL GUZMAN PALOMINO

TESIS DOCTORAL  
GRANADA 1987



15/127  
UNIVERSIDAD DE GRANADA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
GRANADA

EQUILIBRIOS NUTRICIONALES EN CONDICIONES DE INVERNADERO:

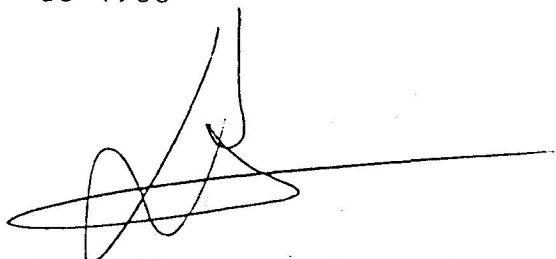
CORRECCION Y MEJORA DE LA COSECHA

por

J. Miguel Guzmán Palomino

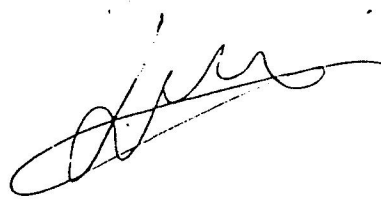
UNIVERSIDAD DE GRANADA  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Fecha de entrega: 13/11/86  
ENTREGA Nº: 4435

Visado en Granada  
a 1 de Noviembre  
de 1986



Luis M<sup>e</sup> Romero Monreal  
Doctor en Ciencias  
Biológicas

Trabajo presentado para aspirar  
al Grado de DOCTOR en CIENCIAS  
Sección de BIOLÓGICAS



J. Miguel Guzmán Palomino  
Licenciado en Ciencias  
Sección de Biológicas

*A mis padres.*

Mi sincero y profundo agradecimiento al Director de esta Tesis Doctoral, Dr. D. Luis M<sup>a</sup> Romero Monreal, por su total dedicación y entrega que ha hecho posible la realización del presente trabajo. Así mismo, quiero resaltar la amistad profunda que ha nacido durante este largo tiempo de convivencia, que espero continuemos manteniendo.

Estoy ligado al profesor Romero desde mis tiempos, ya un poco lejanos, de estudiante.

Con él empecé a interesarme por las cuestiones científicas y de él aprendí además, otras muchas cosas que corresponden a la asignatura de la vida.

Ahora se ha brindado a presentar en esta Facultad, la Memoria de mi Tesis Doctoral.

Querer expresar mi reconocimiento por todo ello, con estas breves líneas, está fuera de medida. Pero él sabe que, efectivamente, le estoy muy agradecido.

Agradezco a todos mis compañeros del Departamento de Biología Vegetal y del Departamento de Edafología, toda la ayuda que me han brindado de forma desinteresada.

El trabajo experimental de esta Tesis Doctoral se ha realizado en los laboratorios de la Catedra de Fisiología Vegetal de Universidad de Granada, con la ayuda aportada por la Dirección General de Investigación y Extensión Agraria de la Junta de Andalucía.

Es obligado destacar, pues, las facilidades concedidas al doctorando por el Departamento y por la Junta de Andalucía. Vaya por delante mi agradecimiento a los componentes de ambos órganos rectores.

También mi profundo agradecimiento para todos y cada uno de los agricultores, que de una forma desinteresada, pusieron a nuestra disposición sus instalaciones.



Debo destacar que he recibido un apoyo continuado, en todo momento, por parte de mis colegas de la Estación Experimental del Zaidín: Dr. Linares y Dr. Huertas, de la unidad de Arcillas; Dr. Esteban y Dr. Gallardo-Lara, de la unidad de Química Agrícola; Dr. Barahona, de la unidad de Edafología, etc.

El proceso de datos para la valoración estadística de los resultados obtenidos se llevó a cabo en ordenador y con muchas horas de trabajo desinteresado por parte de mi hermano Juan Pablo, que además, realizó todos los programas de interpretación matemática y de tratamiento de textos que hemos aplicado.

No sería justo silenciar la paciencia y buen sentido de interpretación que ha derrochado D<sup>ca</sup> Josefa Carrasco que se brindó amablemente a mecanografiar el, a veces no muy claro, manuscrito de esta Memoria.

*" Pero la verdad camina siempre un paso  
por delante como un espejismo, existe  
siempre en el proximo instante,  
siempre en el futuro".*

*( M. Ende )*

# INDICE



	<u>Pag.</u>
1 OBJETO DEL TRABAJO.....	1
2 INTRODUCCION.....	5
2.1 Introducción.....	9
2.2 Tecnicas de diagnostico.....	11
2.2.1 Relación de los nutrientes en el sistema suelo-planta.....	11 11
2.2.2. Sintomas visuales.....	17
2.2.3. Analisis de las plantas.....	23
2.2.3.1. Introducción.....	23
2.2.3.2. Análisis foliar.....	25
2.2.3.3. Factores que alteran el resultado.....	31
2.2.3.3.1. Organo anlizado.....	31
2.2.3.3.2. Edad de las plantas.....	35
2.2.3.3.3. Desequilibrio nutricional.....	39
2.2.3.3.4. Factores endogenos y exogenos de los vegetales.....	45 45
2.3. Metodos de diagnostico.....	51
2.3.1. Rango optimo o nivel critico.....	51
2.3.2. Relación entre nutrientes.....	61
2.3.3. Indices.....	73
2.3.4. Balance Cati3n-Ani3n.....	75
2.3.5. Modelos matematicos.....	81
2.4 Utilidad del Análisis foliar.....	93
3 MATERIAL Y METODOS.....	95
3.1. Localización de los invernaderos estudiados.....	103
3.2. Descripción de los invernaderos.....	103
3.3. Parametros ambientales.....	105
3.4. Fertilización.....	107
3.5. Aguas.....	107
3.5.1. Toma de muestras.....	107
3.5.2. Analisis.....	107
3.6. Suelos.....	111
3.6.1. Toma de muestras.....	111
3.6.2. Preparación de las muestras.....	115
3.6.3. Analisis de las muestras.....	115
3.6.3.1. Analisis fisico.....	115
3.6.3.2. Analisis quimico.....	117

	<u>Pag.</u>
3.7. Material vegetal.....	123
3.7.1. Especies estudiadas.....	123
3.7.1.1. Pepino.....	123
3.7.1.2. Pimiento.....	123
3.7.1.3. Tomate.....	125
3.7.1.4. Judía.....	127
3.7.1.5. Melón.....	129
3.7.1.6. Sandía.....	129
3.7.2. Toma de muestras.....	131
3.7.3. Labor preparativa de las muestras.....	133
3.7.4. Mineralización de las muestras.....	133
3.7.4.1. Mineralización sulfurica.....	133
3.7.4.2. Mineralización perclorica.....	135
3.7.5. Determinaciones.....	137
3.7.5.1. Macronutrientes : Aniones.....	137
3.7.5.1.1. Nitrógeno.....	137
3.7.5.1.2. Fósforo.....	139
3.7.5.1.3. Azufre.....	143
3.7.5.2. Macronutrientes : Cationes.....	147
3.7.5.2.1. Sódio y Potasio.....	147
3.7.5.2.2. Calcio y Magnesio.....	149
3.7.5.3. Micronutrientes.....	151
3.7.5.3.1. Hierro.....	153
3.7.5.3.2. Manganeso.....	153
3.7.5.3.3. Zinc.....	155
3.7.5.3.4. Cobre.....	157
3.8. Productividad.....	159
3.9. Tratamiento estadístico.....	159
4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	163
4.1. Condiciones de los cultivos.....	165
4.1.1. Climatología.....	165
4.1.2. Características del agua.....	169
4.1.3. Análisis edafológico.....	175
4.2. Tratamiento estadístico.....	187
4.3. Los nutrientes, su relación y la edad de la planta....	193
4.3.1. Movilidad de los nutrientes.....	193
4.3.1.1. Nutrientes móviles.....	195

	<u>Pag.</u>
4.3.1.2. Nutrientes inmoviles.....	205
4.3.1.3. Nutrientes de movilidad variable.....	205
4.3.2. Evolución de los Equilibrios e Indices.....	223
4.3.3. Balance catión-anión.....	283
4.4. Rango óptimo.....	293
4.4.1. Macronutrientes: Aniones.....	295
4.4.2. Macronutrientes: Cationes.....	303
4.4.3. Micronutrientes.....	313
4.4.4. Equilibrios fisiologicos.....	323
4.4.5. Indice Vegetativo.....	371
4.4.6. Indice de Hierro.....	377
4.4.7. Balance catión-anión.....	381
5. CONCLUSIONES.....	387
6. BIBLIOGRAFIA.....	395
7. APENDICE.....	423
7.1. Parametros amboentales; análisis químico de agua; y análisis físico y químico de suelos.....	431
7.2. Datos analíticos de Macro- y Micronutrientes.....	443
7.3. Equilibrios e Indices.....	499
7.4. Análisis estadístico.....	553
7.5. Productividad.....	579
7.6. Rango óptimo.....	593

**OBJETO DEL TRABAJO**

La investigación de desarrollo, no sólo tiene en cuenta los aspectos de utilidad y novedad de los descubrimientos que se realizan, sino además su rendimiento económico. Por ello, debe realizarse en análogas condiciones del proceso de producción, dentro de una explotación agraria y sometida a sus posibilidades y limitaciones.

En este trabajo de investigación se pretende cumplir los objetivos propios de una investigación aplicada, auxiliada en algunos aspectos por una investigación básica, donde se pretende abordar los propios de una investigación de desarrollo. Por tanto, toda investigación aplicada debe tener por objeto la solución de un problema de índole práctico.

La importancia del incremento de la superficie dedicada a los cultivos de invernadero, así como su rápida expansión, están haciendo de nuestro litoral una de las zonas de mayor producción agrícola, tanto por su cuantía como por su calidad. Todo ello es motivo suficiente para que nos interese en la nutrición de las plantas crecidas en condiciones de invernadero, así como en su diagnóstico nutricional.

La investigación se propone, poder definir el estado nutricional de los cultivos, y para ello utilizamos el análisis foliar, que es el instrumento más utilizado actualmente en el estudio de problemas nutricionales de las plantas cultivadas.

Como es sabido, se utilizan como métodos de diagnóstico: el nivel crítico de nutrientes, equilibrios e índices fisiológicos y que, con algunas modificaciones, han sido muy utilizados en análisis foliar. La aplicación

de estos conceptos a plantas plurianuales, ha conducido a resultados positivos, independientemente de la variedad y labores de cultivo, resultando además, que estos equilibrios e índices se mantienen constantes a lo largo del ciclo biológico. En cultivos anuales, en cambio, escasas veces se ha estudiado la evolución de los equilibrios e índices frente al tiempo.

En consecuencia, el objeto principal de este trabajo fue establecer los índices de nutrición adecuada (niveles críticos de macro- y micronutrientes, además de equilibrios e índices fisiológicos óptimos) de las plantas hortícolas durante su ciclo biológico.

Por último, en base a los valores óptimos de los índices nutricionales, se intenta diagnosticar el estado nutricional de los cultivos estudiados y se considera algunos de los problemas nutricionales que pueden limitar su productividad y rendimiento.

Para la realización de este trabajo se partió de hojas procedentes de plantas crecidas en invernadero. Se utilizaron seis especies hortícolas de gran rendimiento:

**Tomate** (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

**Pimiento** (*Capsicum annuum* L.).

**Pepino** (*Cucumis sativus* L.).

**Judía** (*Phaseolus vulgaris* L.).

**Melón** (*Cucumis melo* L.).

**Sandía** (*Citrullus lanatus* Thunb.).

El trabajo se llevó a cabo en la zona de invernaderos más importante de Andalucía (Almería y Granada), durante dos años consecutivos.

# INTRODUCCION

## 2.1.- INTRODUCCION.

Para asegurar altos rendimientos en un cultivo de invernadero, además de por otras consideraciones, económicas y medioambientales, es imprescindible que los fertilizantes se utilicen eficientemente, tanto para mantener el nivel de nutrientes disponibles en la solución del suelo, como para elevarlo hasta un nivel suficiente que permita obtener cosechas óptimas. Algunos investigadores, que tienen como línea de trabajo la productividad, están poco satisfechos y dudan de la eficacia del análisis de suelo (McLEAN, 1977) e incluso algunos no creen en el de plantas (JONES, 1976; MUNSON, 1977; SUMNER, 1978).

Se ha escrito mucho sobre la ejecución, interpretación y aplicabilidad de los resultados obtenidos del análisis de plantas, para el diagnóstico exacto y la corrección de las anomalías nutricionales de una cosecha. En el estudio de los vegetales se trata con un cierto número de variables nutricionales cada vez más complejas, aunque disponemos de ciertos conocimientos sobre las concentraciones críticas de nutrientes. Por otra parte en el estudio de los suelos y los nutrientes disponibles para las plantas, se dispone frecuentemente de alguna información, pero normalmente hay poca relación entre estos y los resultados del análisis foliar (ROBINSON, 1980).

Pueden diagnosticarse y corregirse deficiencias o carencias de un solo nutriente sobre la base de la experimentación de campo y/o la experiencia. Sin embargo deficiencias múltiples que conllevan una nutrición subóptima sin ningún síntoma determinante, son mucho más difíciles de tratar y su erradicación implica inevitablemente cierto grado de tanteo (SUMNER, 1978).

Para determinar exactamente el nivel(es) de fertilizante(s) que debe ser aplicado en una situación dada, es necesario saber:

-La correlación entre el nivel de nutrientes existentes en la



solución del suelo y la absorción de los mismos para una cosecha concreta.

- La relación de valoración entre los nutrientes en el suelo y la respuesta de productividad, cuando el fertilizante es aplicado en concentraciones variables.

- Las variaciones de nutrientes en la solución del suelo, cuando se aplican cantidades conocidas de fertilizantes.

Sólo las plantas nutricionalmente equilibradas pueden servirnos de guía con respecto a las concentraciones óptimas de nutrientes en planta, y los diagnósticos de suelo pueden suministrarnos una información útil cuando van acompañados por observaciones apropiadas sobre la planta.

## 2.2- TECNICAS DE DIAGNOSTICO.

### 2.2.1.- Relación de los nutrientes en el sistema suelo-planta.

Cada suelo suministra un ambiente a las raíces de la planta con propiedades únicas que afectan a la disponibilidad del aire, del agua y de los nutrientes, es decir, nutrientes lábiles (capacidad), actividad iónica (intensidad) y relaciones de actividad iónica (intensidad relativa). La aplicación de fertilizantes para obtener un incremento de productividad, se puede hacer sobre la base de la evolución morfológica del cultivo o sobre la base de las respuestas del cultivo a las variaciones según la dosis de fertilizante suministrada (STELLY, 1977). La decisión respecto a si es necesario o no aplicar fertilizante, se puede tomar sobre la base del conocimiento previo de un nivel o valor crítico de uno o varios nutrientes en la solución del suelo, por debajo del cual debe aplicarse el fertilizante requerido y por encima de dicho valor, no es aconsejable. Las curvas de respuesta de producción frente a las dosis de fertilizante, necesitan de diferentes concentraciones en la solución del suelo para obtener resultados

reales (SHUMAN et al., 1978).

A nivel práctico cuando las curvas de producción-fertilizante cambian por aumento o disminución de la productividad o con la utilización de nuevas variedades, el valor de la solución del suelo no tiene por qué ser el mismo (generalmente disminuye) y por ello se repondrá al valor inicial con la cantidad requerida de fertilizante.

Según ROBINSON (1980) el problema de fijar valores exactos a la solución del suelo para definir la incidencia de estas relaciones en la productividad se complica por:

- La gran diversidad de suelos y horizontes.
- La dificultad de obtener muestras de suelo representativas.
- El hecho de que mientras que los análisis químicos son exactos y reproducibles en el laboratorio, las conclusiones deducidas a partir de ellos, pueden ser inexactas, bien porque el método fracasa en extraer el nutriente que esta disponible para la planta o bien porque se extraiga el nutriente que no está disponible para ésta.
- La necesidad, en el caso de cultivos intensivos, de valorar la influencia del volumen cultivado sobre los valores obtenidos de la solución del suelo.
- El problema de las variaciones ambientales (humedad y temperatura) en el análisis de las muestras del suelo.

HOLLAND et al. (1967) estudiaron las posibles causas que inciden sobre las variaciones de la concentración, en la solución del suelo de las muestras tomadas en 40 parcelas y a una profundidad de 20 cm. que diferían en una amplia gama de condiciones físicas y químicas. Pudieron comprobar que el nivel de fósforo y potasio en la solución edáfica, variaba ampliamente para una cantidad constante de suelo. Este problema era peor para algunos nutrientes cuando se efectuaban los análisis después de haber realizado una fertilización.

Ininterrumpidamente continúan buscándose nuevos métodos de valoración de la solución del suelo, que sean más ampliamente aplicables a una gran gama de suelos; que suministren valores cuantitativos de los nutrientes disponibles para las plantas (BAKER, 1971, 1973; STANFORD y SMITH, 1976; SOLTENPOUR y SCHUWAB, 1977; MEHLICH, 1978; AGUILAR et al., 1984, 1985) y que permitan que interactúen factores del suelo a la hora de cuantificar el valor de los niveles de la solución edáfica (FISHER, 1974; McLEAN y LAGILLE, 1976; McLEAN, 1976; SCHUMAN et al., 1978).

La relación fósforo del suelo-producción y sus respuestas al fertilizante fosforado ha sido, al menos, tan ampliamente estudiada como esta relación sobre cualquier otro nutriente por separado. Se sabe bien que los horizontes, en suelos cultivados, contienen del 25 al 75% de su fósforo total en forma orgánica (HARRAP, 1963), sin embargo raramente se incluye en las valoraciones este fósforo. En cambio, ha habido recientemente un aumento del interés por este aspecto del fósforo disponible por las plantas (ADEPETU y COREY, 1976; ABBOTT, 1978; BOWMAN y COLE, 1978b). BOWMAN y COLE (1978a) han publicado que los niveles de fósforo orgánico frecuentemente exceden a los de fósforo inorgánico extraído, en los suelos de pastizales, por medio del carbonato sódico.

En general, las raíces de las plantas ocupan, aproximadamente, el 1% del volumen total del suelo utilizado, y de éste el 50% lo constituyen poros. Así pues, las raíces ocupan el 2% del espacio poroso, de donde se deduce que cuanto menor sea el volumen de suelo para un nutriente dado, respecto al nivel de demanda de dicho nutriente, más alta debería ser la concentración del nutriente y por consiguiente su valor en la solución edáfica (BAKER y WOODRUFF, 1962). Es por ello que los valores críticos del análisis del suelo para un nutriente y la necesidad de aplicar fertilizante deben ser diferentes para una planta plurianual o anual, ya que aquella desarrolla una mayor superficie radicular que ésta.

BOULD (1966) dijo: "Si la finalidad del análisis de las hojas es

servir de guía al tratamiento con fertilizantes, además de su principal uso, que es saber el estado nutricional de la planta, entonces será necesario establecer una relación entre el sistema suelo-planta y el contenido de nutrientes en hoja".

El estado nutricional de algunos suelos, tal como se determina por el análisis químico, se observa que está correlacionado con el nivel de nutrientes en hoja y con la producción. Para otros suelos no se encuentra ninguna relación y no hay una explicación clara. Según OHKI y ULRICH (1977), todavía no se puede utilizar la información sobre nutrientes en el sistema suelo-planta para concretar la cantidad de fertilizante que hay que añadir al suelo para que se incremente la concentración de nutriente en la hoja hasta un nivel óptimo (y/o la razón respecto a otros nutrientes) para lograr la máxima productividad. Estos mismos autores plantean y preconizan una investigación que coordine los datos del suelo con los foliares, para determinar los valores iniciales del suelo que mantengan concentraciones de nutrientes en la hoja dentro de una escala adecuada durante toda la época de desarrollo. Pues según ellos, la concentración de nutrientes en la solución del suelo, por ejemplo, varía con el nivel de humedad del mismo y esto, a su vez, influirá en la absorción iónica y por tanto en la concentración en hoja. WEAR y COPE (1977) examinaron las relaciones entre los valores de la solución del suelo y el análisis de hojas de tomate recolectadas en momentos diferentes; sus resultados suministran un ejemplo de las dificultades encontradas. Comprobaron que la concentración de fósforo en hoja no variaba con el tratamiento diferenciado de fósforo aplicado al suelo, aún siendo las dosis de fertilizante adecuadas. El potasio de la hoja no estaba en absoluto correlacionado con el potasio del suelo y ambos variaban ampliamente. El magnesio en hoja y el magnesio del suelo estaban relacionados, pero de ningún modo con precisión, mientras que el calcio de la hoja y el del suelo estaban más estrechamente relacionados que el potasio o el magnesio. El zinc en hoja y el del suelo estaban altamente correlacionados.

#### 2.2.2.- Síntomas visuales.

Los problemas de los nutrientes son a menudo la manifestación de

enfermedades nutricionales que se exteriorizan en la planta por medio de una sintomatología característica (WALLACE, 1961). El primer diagnóstico será pues, el reconocimiento visual de los síntomas de las deficiencias o toxicidades. El diagnóstico visual es mucho más importante en el caso de los macronutrientes, sin embargo, es mucho más difícil y raro observar su sintomatología en cultivos intensivos.

Los síntomas visuales de deficiencias en macro y micronutrientes son conocidas en la mayor parte de las plantas. Numerosas colecciones de fotografías en color han sido publicadas sobre los principales cultivos, permitiendo a un observador experimentado, diagnosticar en el campo. Sin embargo, los signos de deficiencia incipientes o ligeramente aparentes (también en el caso de toxicidad) son muy difíciles de identificar en la mayoría de los cultivos (ISHIZUKA, 1978).

No hay evidencias de una sintomatología general de los nutrientes. Cada uno de ellos presenta síntomas más o menos específicos (ISHIZUKA, 1978). Para un nutriente hay a menudo signos generales comunes a las especies vegetales y signos particulares para un género determinado (SMITH y VERSCHOYLE, 1973). Es importante, sobre todo, que el observador esté familiarizado con una, o varias, carencias determinadas para un determinado cultivo. Por ejemplo, para poder diagnosticar con una cierta fiabilidad la deficiencia de zinc en el maíz, es preciso el haber estado en contacto con dicha carencia en numerosas ocasiones, y en diversos estados del desarrollo, así como en diversas condiciones de suelo y clima (ANDREW y PIETERS, 1972, 1976a y b)

Al realizar un diagnóstico de este tipo debe tenerse en cuenta el papel que desempeña cada elemento en los procesos fisiológicos de la planta y el comportamiento, en general, de éste dentro de la planta para poder determinar la forma y parte del vegetal donde primero se observará su deficiencia. Así, recordemos que, de acuerdo con la edad de las hojas, los elementos nutritivos pueden ser removilizados a las raíces, brotes o a los frutos. La magnitud de este proceso depende de los elementos considerados. Algunos, como calcio, boro, hierro y manganeso no son fácilmente removilizados

y permanecen en forma casi fija en una parte del vegetal. Otros, como fósforo, potasio y nitrógeno se mueven fácilmente desde las hojas viejas a las nuevas. Finalmente, hay elementos como cobre, zinc y azufre, cuya movilidad dentro de la planta depende de su adecuado abastecimiento o del abastecimiento de otros. Por lo tanto, al describir los síntomas foliares, es importante observar qué hojas presentan síntomas. Si son las viejas las que presentan, ya sea clorosis o necrosis, puede ser una deficiencia o toxicidad de un elemento móvil. Si el síntoma es clorosis o muerte de las hojas nuevas, es casi seguro que el desorden es una deficiencia de un elemento inmóvil o de movilidad variable (SMITH, 1972,1973,1974).

En algunos casos, al examinar las plantas, es importante, a parte de hacerlo con las hojas, observar también las raíces. Por ejemplo, la toxicidad por aluminio puede producir síntomas característicos en la raíz, sin alteración foliar, salvo una reducción en el crecimiento. Para las leguminosas es particularmente importante observar la distribución, tamaño y número de los nódulos. La deficiencia de molibdeno en las mismas, puede distinguirse de los efectos tóxicos de hidrogeniones, sobre el crecimiento de rizobios y nódulos, examinando las raíces. Para ambas alteraciones, el síntoma es deficiencia foliar de nitrógeno; sin embargo, la deficiencia de molibdeno produce gran número de pequeños nódulos blancos y verdes, la acidez del suelo impide la formación de nódulos (ISHIZUKA, 1978).

Ciertas deficiencias son más fáciles de reconocer que otras y plantean muy pocas confusiones. El diagnóstico visual se ve facilitado por ciertas parejas micronutriente/especie que están más relacionadas que otras (ROMERO, 1982). Por ejemplo: hierro/judía (WALLACE y MUELLER, 1980), manganeso/tomate (WALLYHAN y BRADFORD, 1977), zinc/maíz (IYENGAR et al., 1981), cobre/cebada (VELTRUP, 1979) y boro/girasol (BUSSLER y DOERING, 1979). La dificultad será mayor en el caso de una deficiencia o toxicidad en un cultivo caracterizado como poco sensible.

Las posibles confusiones en el diagnóstico visual pueden producirse entre micronutrientes/macronutrientes y micronutriente/micronutriente. En el primer caso, por ejemplo: manganeso/magnesio (MAAS et al., 1969),

hierro/calcio (BROWN y McDANIEL, 1978), zinc/fósforo (LONERAGAN et al., 1979), cobre/nitrógeno (MAZEPIN y ABRANOV, 1975) y boro/potasio (GUPTA, 1979). En el segundo caso se dan los siguientes ejemplos: hierro/manganeso en el caso de deficiencias ligeras (PALAVEEV et al., 1975), zinc/cobre (HARA et al., 1976) y boro/manganeso o zinc (BROWN et al., 1958). Pero ha de recordarse que algunos síntomas visuales de deficiencia se confunden con la sintomatología de la virosis o picaduras de insectos. Por lo tanto hay varias dificultades en el uso de los síntomas visuales para diagnosticar los desórdenes nutritivos. Primero, el crecimiento puede estar inhibido sin que aparezca ningún síntoma. Segundo, diferentes desordenes pueden producir síntomas parecidos. Tercero, los síntomas pueden indicar problemas secundarios y no ser la causa primaria. Por ejemplo, la toxicidad por aluminio, ya citada, puede disminuir el crecimiento de la raíz e inducir síntomas de deficiencia de otros elementos nutritivos.

### 2.2.3.- Análisis de las plantas.

#### 2.2.3.1.- Introducción.

Cuando los científicos en agricultura del siglo pasado, comenzaron a darse cuenta que los elementos minerales en la planta eran captados del suelo, en el cual se encontraba dicha planta, era lógico sugerir que el análisis químico de la planta podría usarse como medio para valorar el abastecimiento de nutrientes por el suelo.

En aquel tiempo, parecía también razonable sugerir, como lo hizo VON LIEVIG en el siglo pasado en su "Ley de la restitución", que el análisis de las plantas se podía usar para determinar las cantidades de nutrientes tomadas del suelo por una determinada cosecha y, por lo tanto, las cantidades necesarias para mantener la fuente de abastecimiento del suelo.

La mayoría del trabajo referente al análisis químico de las plantas fue potenciado por el deseo de desarrollar técnicas que pudieran suplementar o, incluso, sustituir el análisis del suelo y así proveer de un método biológico para el análisis del suelo.

La idea de usar el análisis de las plantas para determinar las necesidades de nutrientes del suelo ha dominado el área de la nutrición de

las plantas durante muchos años. En los últimos veinte años, aproximadamente, una gran cantidad de trabajo experimental ha causado un gradual, pero fundamental, cambio en la forma de pensar, ya que se ha hecho progresivamente aparente que en muchas situaciones, y para una gran variedad de especies de plantas en agricultura y horticultura, la composición química de las plantas o de sus tejidos pueden reflejar directamente el estado de los nutrientes o las necesidades por parte de las plantas.

Recientemente, probablemente como resultado de los avances en los conocimientos y comprensión de los papeles y funciones de los elementos, se están desarrollando nuevas aproximaciones al estudio que difieren en principio, en las técnicas analíticas utilizadas actualmente para las plantas. Estas están basadas en cambios fisiológicos o bioquímicos específicos causados por deficiencias o, alternativamente, en respuestas específicas que pueden ser inducidas en las plantas o en sus tejidos mediante la adición de elementos deficientes.

#### 2.2.3.2.- Análisis foliar.

El análisis vegetal es empleado para confirmar el diagnóstico visual, pero no determina o informa sobre la causa de la carencia, salvo si hay un desequilibrio con otro elemento. Es particularmente útil en el caso de que los síntomas no sean bien reconocidos y exista el riesgo de confusión.

El análisis foliar es particularmente interesante para los nutrientes porque determina los niveles en planta, asociados al desarrollo de la planta y reflejan bien el grado de asimilación, pues a menudo es difícil de determinar por el análisis del suelo.

Al ir avanzando los estudios de Fisiología Vegetal y tener un mayor conocimiento de la importancia de los distintos nutrientes en el metabolismo, el análisis de tejidos vegetales como medio para conocer las necesidades nutricionales de las plantas, fue adquiriendo una base científica. Así, LUNDEGARDH, que por los años veinte abordó el problema comenzando su estudio con el análisis del suelo y subsuelo, encontró después una valiosa ayuda



empleando el análisis de la planta y de aquí la denominación de "triple análisis" dada por él a este método de diagnóstico (LUNDEGARDH, 1938). De este modo, usa la planta como un agente de extracción, mientras el análisis del suelo revela sus características generales. Después comprobó, que el análisis foliar sólo era, generalmente, suficiente para el diagnóstico del contenido de nutrientes en el suelo y para la respuesta de la planta a la fertilización (LUNDEGARDH, 1951).

Desde entonces, el análisis de la planta fue otra vez considerado seriamente por los investigadores en el campo de la nutrición vegetal. Un grupo de trabajo fue representado por GILBERT y HARDIN (1927), GILBERT, McLEAN y ADAMS (1927) y EMMERT (1934), que analizaban tejido fresco, mientras que otro grupo prefirió el tejido seco; PFEIFFER, SIMMERMACHER y RIPELL (1919), LAGATU y MAUME (1934), MITCHELL (1935). Desde entonces se han hecho muchos progresos tanto en técnicas como en interpretaciones de resultados en ambas direcciones.

Los experimentos de LUNDEGARDH (1951) demostraron que la velocidad de crecimiento de una planta (y por lo tanto sus hojas) estaba en función de la concentración de nutrientes en ella. Esto es así porque las hojas biosintetizan sus compuestos, orgánicos o no, directamente de los nutrientes que la planta absorbe. Así la intensidad de formación de proteínas en hojas, está en función de la concentración de ión nitrato y otros nutrientes. La concentración de nutrientes en hoja es vital para el crecimiento de los diferentes órganos y el flujo con que se traslocan los diferentes productos depende de la concentración en los órganos de almacenamiento.

El método de "análisis foliar" se ha usado con proliferación en las últimas décadas para determinar el estado nutricional de una gran variedad de cosechas. Las bases para el uso sistemático del análisis foliar fueron sentadas por LAGATU y MAUME (1929), y posteriormente extendidas por THOMAS y MACK (1938), cuya contribución a este campo ha sido notable.

Se llama "análisis foliar" (DIOS VIDAL y ALBAREDA, 1954) a la composición química de la hoja referida a los elementos minerales dominantes en el momento de la recogida de muestra, tomada ésta en posición conveniente

sobre el tallo y con una edad fisiológica determinada. Según THOMAS (1937) la validez del análisis foliar se basa en los siguientes hechos experimentales:

- Dos hojas morfológicamente homólogas, de la misma especie y variedad son el lugar de idénticos procesos fisiológicos cuando el medio (suelo y factores meteorológicos) es idéntico; y de diferentes procesos fisiológicos cuando el medio es diferente.

- La respuesta a los elementos fertilizantes nitrógeno, fósforo o potasio está siempre asociada a un incremento de este elemento en la hoja seca, si se compara con hojas morfológicamente homólogas de plantas que no reciben el elemento en cuestión.

- La diagnosis foliar de plantas de la misma especie que crecen sobre el mismo medio homogéneo, pero que reciben diferentes tratamientos de fertilizantes, está correlacionada con su desarrollo y también con la naturaleza del fertilizante aplicado.

- La variación en la composición química de hojas de la misma edad fisiológica y de plantas de la misma especie cultivadas en suelo homogéneo y sometido a diferentes tratamientos de fertilizantes, bajo las mismas condiciones meteorológicas, es bastante grande y debido a la gran sensibilidad de la hoja como laboratorio de síntesis de la planta es también bastante fácil de determinar.

El análisis foliar permite (DIOS VIDAL y ALBAREDA, 1954), por una parte, diagnosticar la carencia más o menos acentuada de un elemento que vaya acompañado o no de un desequilibrio en la nutrición, y por otra, conocer de qué manera y por qué técnicas y fertilizantes se puede obtener la nutrición óptima del cultivo.

Pero LUNDERGARDH (1951) describe las bases fisiológicas del análisis como dependiente de dos procesos generales:

- La absorción y distribución de minerales por las plantas.
- La relación cuantitativa entre los elementos nutritivos absorbidos

y crecimiento.

Las consideraciones fundamentales, según FERNANDEZ (1960), en que se basa este sistema de trabajo son:

- En un medio homogéneo y bajo los mismos factores externos las hojas fisiológicamente homogéneas (de la misma edad) dan los mismos resultados analíticos.
- Hojas de plantas de la misma especie, cultivadas en medios desiguales o sometidas a factores externos distintos, tendrán, en general, diagnósticos foliares distintos. Si las plantas muestran respuestas (usando como criterio, por ejemplo, el desarrollo o rendimiento) a diferentes medios, factores o tratamientos con fertilizantes, dichas respuestas serán reflejadas por la composición química de la hoja.
- Como los diagnósticos foliares están sujetos a variaciones de origen externo, como clima, suelo u otros, no es posible utilizar, en sentido absoluto, los valores obtenidos. Estos valores, podrán tener utilización práctica cuando se usen hojas del mismo tipo, de la misma ubicación en la planta, de la misma especie, y cultivadas en condiciones similares en cuanto a factores externos.

Una vez determinados los contenidos del (o los) nutrientes en el tejido adecuado, debe evaluarse la información a través de uno o varios sistemas de interpretación. En todo caso, cualquiera que sea el (o los) sistemas que se empleen, si se desea utilizar el análisis foliar como elemento de estudio para los problemas nutritivos, es necesario establecer previamente los patrones o índices de referencia.

#### 2.2.3.3.- Factores que alteran el resultado.

##### 2.2.3.3.1.-Órgano analizado.

En el análisis se pueden emplear hojas, raíces, frutos, limbos, peciolo, cortezas u otras partes de la planta. Sin embargo, es la hoja la que se elige en la mayoría de los casos por ser el órgano más dinámico, donde los elementos minerales cumplen sus funciones primarias en conexión con la asimilación del carbono y otros procesos metabólicos. Además, la hoja es un órgano fácil de recolectar. Por estos motivos, se denomina, generalmente, "análisis foliar" al análisis de tejidos, y "diagnóstico foliar" al análisis e interpretación de los resultados.

El contenido de cationes y aniones de las muestras vegetales se ha determinado durante muchos años, como ayuda para el diagnóstico, interpretación y corrección de trastornos nutritivos. La aplicación con éxito de la técnica depende, en la práctica, de la obtención de índices o relaciones fiables.

BOULD (1966) revisó bibliográficamente el análisis de hojas y desde que se escribió ese estudio ha habido poco avance real. Afirmó que el método se basa en los supuestos:

- La hoja es el lugar principal del metabolismo de la planta.
- Los cambios en el suministro de nutriente se reflejan en la composición de la hoja.
- Estos cambios son más pronunciados en ciertas etapas del desarrollo que en otras.
- Las concentraciones de nutrientes en la hoja en etapas específicas del crecimiento están relacionadas con el logro o rendimiento de la cosecha.

Aunque generalmente se muestre toda la hoja, la concentración en la materia seca del peciolo puede ser ocasionalmente muy diferente a la del limbo, por lo que la inclusión de los peciolo de diferente longitud puede dar resultados diferentes. Ocasionalmente, el peciolo dará una indicación mejor del estado de los nutrientes que el limbo (BOULD, 1961). Esto, sin embargo, puede ser cierto para unos elementos y no para otros.

Así, por ejemplo, los peciolos dan un índice mejor del estado del potasio que el limbo foliar (SHAULIS, 1961). Esto se encontró también para el estado del potasio en las moreras, mientras que el nitrógeno se comportaba de forma inversa (BOULD, 1964). En la remolacha azucarera, los peciolos dan la mejor indicación del estado del nitrógeno mientras que el limbo foliar es preferible para el estado del azufre (ULRICH, 1961).

Pueden utilizarse distintos criterios para la elección del órgano a analizar (EMMERT, 1959), pero generalmente los más importantes son la sensibilidad de la respuesta y la estabilidad frente a los factores que no sean el abastecimiento del nutriente en particular que se esté tratando. Un cambio en el abastecimiento de los nutrientes puede afectar marcadamente la morfología de la planta, y por lo tanto, alterar la proporción de la materia seca distribuida en los diferentes órganos. Es importante que ésto, no deteriore la correlación entre el contenido de nutrientes y el crecimiento o producción (GOODDALL y GREGORY, 1947).

#### 2.2.3.3.2.- Edad de las plantas.

La composición de cada órgano o tejido cambia durante su desarrollo bajo la influencia de varios factores y para el total de la planta. Cada elemento presenta normalmente un patrón característico del cambio en un tejido dado a medida que se desarrolla, madura y finalmente envejece. Los datos que han sido tabulados por SMITH (1962) indican que las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio en el material seco disminuyen siempre con la edad, mientras que otros como el calcio y el magnesio normalmente aumentan.

Pero el comportamiento de los micronutrientes depende de la especie vegetal estudiada, y así tenemos que en habas, el hierro desciende con el tiempo, el zinc aumenta y el manganeso permanece estable durante todo el ciclo (SANCHEZ et al., 1984), pero en plantas plurianuales el hierro y el manganeso aumentan su concentración con el tiempo, mientras que el zinc

permanece constante (GUZMAN y ROMERO, 1985; GUZMAN et al., 1986a y ROMERO, 1986).

Estos cambios de desarrollo con respecto a la hoja, probablemente reflejan las variaciones en la movilidad de los nutrientes y han sido extensamente estudiados para muchas cosechas, particularmente en frutales por ejemplo: manzana (REUTHER y BOYTON, 1939), melocotón (EPSTEIN y LILLELAND, 1942), naranja (JONES y PARKER, 1950; SMITH y REUTHER, 1950), mora (BOULD, 1961), nogal (GUZMAN et al., 1986b). EMMERT (1959) concluyó después de una revisión de la literatura que los conocimientos de ese tipo pueden ayudar a seleccionar el mejor tiempo de muestreo para un análisis de tejidos; en general, existen tres o más períodos de crecimiento distintos. En el primer período, cuando las hojas se están expandiendo rápidamente, los cambios en la concentración y las variaciones de un día para otro pueden ser bastante grandes. También pueden ocurrir cambios importantes al final de la estación de crecimiento, cuando el envejecimiento está acompañado normalmente por la reabsorción de los elementos móviles hacia los tejidos leñosos. El período intermedio es normalmente de una estabilidad relativa y puede durar de tres a seis meses. La mayoría de los diagnósticos "estandar" para los árboles frutales han sido desarrollados para hojas de esta edad (ROMERO, 1986). En algunos casos es posible reducir la variación debida a las diferencias en la edad de la hoja muestreando hojas de la misma edad fisiológica, por ejemplo, las más jóvenes y totalmente maduras o las hojas expandidas. Esto es particularmente útil en la comparación de los tratamientos nutricionales o durante los muestreos que tienen lugar en la estación de crecimiento.

La selección del criterio está fundamentalmente gobernada por consideraciones de variabilidad, reproducibilidad y necesidad obvia de obtener una indicación fiable del estado de los nutrientes en la planta, cosecha o árbol. Así, MASON (1958) concluyó que para los manzanos, la posición de las hojas más apropiada y el tiempo de muestreo más conveniente eran aquellos

en los que las variaciones de la composición de la hoja eran las menores. Los mejores tejidos para el análisis no son necesariamente los que muestran mayores diferencias en composición. Además, los tejidos óptimos y las condiciones varían entre los elementos y es necesario estudiarlos separadamente.

#### 2.2.3.3.3.- Desequilibrio nutricional.

Las interacciones de los nutrientes, que incluyen un cambio en la concentración de un elemento en el tejido de la planta causado por otro, son bastante comunes. Normalmente ésto es difícil de entender pero ha de tenerse en cuenta en los diagnósticos basados en el análisis de las plantas. Un cambio en el contenido de un elemento invariablemente va acompañado por cambios secundarios en el contenido de los otros elementos en los tejidos, incluso aunque no ~~haya~~ cambio en la disponibilidad de los nutrientes interaccionantes (EMMERT, 1961; GUZMAN y ROMERO, 1985).

Las interacciones de los nutrientes pueden ser positivas o negativas (PREVOT y OLLAGNEIR, 1961). Expresiones alternativas para el mismo fenómeno son sinergismo y antagonismo (SMITH, 1962). El antagonismo puede ocurrir durante la captación de los iones, durante el transporte y la acumulación en los tejidos o en el metabolismo (PREVOT y OLLAGNEIR, 1961). Puede también entrar a formar parte de estos conceptos la competición entre dos o más elementos, así como la precipitación de los nutrientes u otros fenómenos (ROMERO y ALVAREZ-TINAUT, 1984).

Otra fuente de interacción entre iones ocurre debido a la regulación de la proporción cationes/aniones en la célula. Este proceso es discutido detalladamente por SMITH y RAVIN (1976b). La asimilación de más equivalentes de nitrógeno, como ión nitrato, que de su equivalente catiónico correspondiente, debe de ser compensado por la liberación de hidroxilo, mientras que la asimilación de nitrógeno, como ión amonio, o de más ión potasio que nitrato se resuelve con la excrección de hidrogeniones. Los valores del pH de la rizosfera pueden afectar a la forma del ión, tanto por afectar a la

concentración de los iones en la solución del suelo, ya mencionado anteriormente, como por afectar la absorción de iones por las raíces desde la solución.

El antagonismo durante el transporte está causado normalmente por precipitación en los tejidos de las raíces o en cualquier lugar de la planta. El exceso de fosfatos en los alrededores de la raíz causan precipitación tanto de zinc como de hierro a lo largo de los tejidos conductores y ésto puede provocar clorosis férricas (GUZMAN et al., 1986b) o el moteado de las hojas como síntoma de deficiencia de zinc (WEST, 1938). Lo que ocurre en ambos casos es una precipitación de los elementos a niveles de traza en forma de fosfatos. Otro caso de deficiencia de zinc inducida, fue publicado para el trébol subterráneo que crecía en suelos bajos en zinc. Un aumento en el abastecimiento de nitrógeno, independientemente de las fuentes de nitrógeno suministradas, disminuía el contenido de zinc en los extremos. Esto fue atribuido a la retención de zinc en las raíces, como resultado de la formación de complejos inmóviles Zn-proteína (OZANNE, 1955; DOGAR y VAN HAY, 1980). En cultivos hidropónicos, la concentración crítica de zinc de diversos tipos de trébol subterráneo, depende de la edad de las plantas y del abastecimiento en fosfato. La severidad de la deficiencia de zinc estaba relacionada con la proporción fósforo/zinc, más que con la concentración de zinc en los tejidos (MILLIKAN, 1963; LONERAGAN et al., 1979).

Un nutriente puede afectar a la removilización de otro desde las hojas viejas a las jóvenes. La cantidad de nitrógeno, puede influir sobre la removilización de cobre desde las hojas viejas a las nuevas. El movimiento de cobre hacia fuera de las hojas viejas de trigo, impide, paralelamente, el movimiento del nitrógeno (LONERAGAN et al., 1976, 1980 ; HILL et al., 1978, 1979b). La deficiencia de cobre, que retrasa la removilización del cobre desde las hojas más viejas, también retrasa la removilización del





nitrógeno y por tanto la senescencia de estas hojas. De cualquier manera, cuando las hojas más viejas de plantas deficientes y no deficientes en cobre son sombreadas e inducidas a senescencia, sus contenidos en cobre y nitrógeno descienden simultáneamente (HILL et al., 1979a). Parece que en la relación entre los movimientos de cobre y nitrógeno fuera de las hojas viejas, está implícita una fuerte unión del cobre con los complejos proteínicos de nitrógeno (KANNANGARA y WOOLHOUSE, 1968).

Existe otro tipo de interacción referida al denominado pseudo-antagonismo por LUNDERGARDH (1966) o deficiencia inducida (EMMER, 1961), que puede tener distintas causas. Un ejemplo corriente de este tipo de interacción se da, cuando dos elementos son deficientes pero con distinta severidad, por lo que la deficiencia manifestada por la planta para un elemento, está marcada por el más deficiente. Cuando el abastecimiento de este último se aumenta, se alcanza un punto en el cual el primer elemento se hace más deficiente y entonces comienza él a determinar la respuesta de la planta. Este principio es de una importancia considerable en el diagnóstico basado en el análisis de las plantas, y lo conocemos frecuentemente como la "ley del mínimo". La interacción entre el nitrógeno y el fósforo es un ejemplo muy conocido (BOUMA , 1956, 1961; WILLIAMS, 1955). En los experimentos de campo diseñados para desarrollar criterios que permitieran la detección de las deficiencias de azufre en cultivos de trébol subterráneo, BOUMA et al. (1969) encontraron, que las concentraciones de sulfato y de azufre total en hojas de trébol, eran más altas en aquellos casos que habían recibido más cantidad de fosfato. De forma similar, las correlaciones entre las respuestas en el campo a la aplicación de fosfatos y la concentración total de fósforo en las hojas de trébol eran más altas cuando las deficiencia de azufre habían sido corregidas. La implicación de estos ejemplos es, como dicen CHAPMAN et al. (1966), que el análisis de las plantas sólo puede detectar la deficiencia de un nutriente cada vez. También parece que, en general, el análisis de tejidos de la planta para un solo elemento tiene

poco valor en el diagnóstico, a menos que se sepa que el abastecimiento de otros elementos es el adecuado.

El "efecto de sustitución" es otro fenómeno de interacción bastante conocido. El sodio puede sustituir, en parte, los requerimientos de potasio en los cereales (WEHUNT y COLLINS, 1953; DE WITT et al., 1963), césped (HYLTON et al., 1967; SMITH, 1974) y dicotiledóneas (HOLT y VOLK, 1945). La adición de sodio al suelo puede hacer descender tanto los requerimientos externos como internos de potasio (SMITH, 1974), indicando que algunas especies pueden utilizar el sodio en lugar del potasio para alguna, pero no todas, de sus funciones fisiológicas y metabólicas. El desarrollo de la planta puede disminuir, si el equilibrio entre cationes y aniones inorgánicos no se mantiene (DE WITT et al., 1963). El sodio puede también tener un efecto de sustitución en los requerimientos de potasio que contribuyen al mantenimiento osmótico en las vacuolas celulares.

#### 2.2.3.3.4.- Factores exógenos y endógenos de los vegetales.

Las mayores velocidades de crecimiento de las plantas dependen de los factores ambientales tales como la temperatura, la luz y el abastecimiento de agua. Cuando están presentes en niveles por debajo del óptimo para el crecimiento o producción máximas, cualquiera de estos factores se hace "limitante", y por tanto causa un requerimiento de nutrientes por parte de la planta. Como resultado, la concentración de nutrientes en materia seca tiende a aumentar. En los tréboles subterráneos cultivados a tres temperaturas (15°C día/10°C noche; 21°C/16°C y 27°C/22°C) y con dos niveles de fósforo, la respuesta del crecimiento al fósforo fue menor a las temperaturas más bajas. La concentración de fósforo en toda la planta (hoja, peciolo y raíz) fue mayor a las temperaturas más bajas, y disminuía al aumentar la temperatura. Esto ocurría tanto para dos niveles de fósforo como para dos de azufre (BOUMA y DOWLING, 1969a, b).

Existe de forma potencial un límite, donde un mayor aumento de la

temperatura no originaría un posterior aumento en la concentración de los nutrientes, pudiendo incluso causar una disminución. Esto dependerá de la intensidad relativa a la cual, tanto el crecimiento como la captación de nutrientes se reduce al disminuir la temperatura. ZURBUCKI (1961), por ejemplo, indicó que las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio de las plantas de tomate a 12°C eran más bajas que las que crecían a 20°C. En un caso como éste, la temperatura de 12°C era más baja que la óptima, la captación de los nutrientes tenía que reducirse en mayor cuantía que el crecimiento, resultando una disminución en la concentración de los nutrientes. GUZMAN et al., (1984b), comprobaron que había una correlación negativa entre la temperatura y la concentración de cobre en hojas para árboles frutales, mientras que era positiva en el caso del boro.

La influencia de la luz sobre la concentración de los nutrientes es similar a la de la temperatura. BOUMA y DOWLING(1969b), trabajando con trébol subterráneo a cuatro niveles de fósforo, comprobó que las concentraciones de fósforo en todas las partes de la planta (hojas, peciolo y raíces) eran más altas para una intensidad de luz de 1300 J/m<sup>2</sup>/s que para 2600 J/m<sup>2</sup>/s. Estas diferencias eran relativamente pequeñas a niveles bajos de fósforo, pero aumentaban con el abastecimiento de fósforo, debido a la gran reducción de la respuesta del crecimiento para el fósforo al nivel más bajo de luz comparado con el más alto. Esto sugiere que hay un requerimiento más bajo de fósforo para bajos niveles de luz. En los cerezos, los valores críticos para el nitrógeno eran más altos en las hojas soleadas que en las que se encontraban a la sombra (PROEBSTING y KENWORTHY, 1954). La luz ejercía una acción positiva sobre la concentración de cobre y boro en hojas de árboles frutales (GUZMAN et al., 1984c).

Los efectos de los cambios de la humedad del suelo en las concentraciones de los nutrientes en tejidos de plantas son complejos. Un efecto obvio de la excesiva humedad es la pérdida de nutrientes por drenaje y erosión, acompañado de una disminución en la disponibilidad de algunos

elementos debido a la escasa aireación (WALDLEIGH y RICHARDS, 1951). Algunos elementos pueden hacerse más disponibles, debido a los procesos de reducción en un suelo poco aireado, por ejemplo, hierro y manganeso. La captación de los nutrientes, particularmente los aniones, puede verse también reducida por la falta de oxígeno en los suelos saturados. Cambios en la aireación pueden afectar la morfología de las raíces. En general, todos estos factores pueden influenciar la concentración de los nutrientes en los tejidos de la plantas, dependiendo de la extensión en la que afecten la captación y utilización de los nutrientes para el crecimiento.

Las publicaciones en relación con los efectos del bajo abastecimiento de humedad al suelo sobre la concentración de los nutrientes en las plantas son conflictivos. WADLEIGH y RICHARDS (1951) concluyeron que, para un determinado nivel de fertilidad, la disminución de la humedad del suelo causa un aumento en la concentración de nitrógeno en los tejidos de la planta, una disminución en la concentración de potasio, y un efecto variable sobre fósforo, calcio y magnesio. Por otro lado WILLIAMS y SHAPHER (1955) llegaron a la conclusión de que en cebada y centeno, la humedad hace aumentar las concentraciones de potasio, nitrógeno, magnesio, calcio y manganeso en las hojas, aunque los efectos del tratamiento en el centeno eran relativamente bajos. Esto mismo fue comprobado para el caso del cobre y boro en árboles (GUZMAN et al., 1984c).

La concentración de los nutrientes en los tejidos de la planta, está fuertemente influenciada por el desarrollo de la fruta o cosecha (EMMERT, 1959; SMITH, 1962). En general, las concentraciones de nitrógeno, calcio y magnesio aumentan con la carga de frutos, mientras que la concentración de potasio normalmente disminuye. Los efectos en el fósforo son variables. Se ha publicado por distintos autores, que el quemado de las hojas causado por la deficiencia de potasio aumenta con el desarrollo de la cosecha. Existen también marcadas interacciones entre los efectos de la adición de fertilizantes en el desarrollo de las cosecha de las naranjas

"navel" debido a las aplicaciones de nitrógeno, que fueron acompañadas por una disminución en la concentración de potasio en las hojas, incluso con un abastecimiento apropiado de potasio en el suelo (GROENEWEGEN y BOUMA, 1960). Esto fue atribuido, por lo menos en parte, a la dilución seguida de la respuesta del cultivo y del crecimiento, al nitrógeno. SATO (1961) consideraba que una disminución del potasio en las hojas, cuando aumenta el desarrollo de las naranjas "satsuma", se debía principalmente a la traslocación del potasio a la fruta, posiblemente debido a que la fruta tenía unas necesidades relativamente altas de potasio. Relacionado con esto, están los hallazgos ocurridos en Florida, donde se producía una respuesta casi lineal en relación con la caída de la fruta cuando el potasio en las hojas era menor del 0.8% de la materia seca (WILSON, 1961).

La composición de los nutrientes en las hojas también depende de su posición relativa a la fruta. En las naranjas, por ejemplo, las concentraciones de nitrógeno y fósforo son, por regla general, más bajas en las hojas próximas a los frutos que a los ápices, probablemente debido a que la fruta compite por los nutrientes disponibles con las hojas (BOUMA, 1959, 1961). Por esta razón las muestras de hojas suelen estandarizarse, algunos prefieren hojas de las proximidades de los frutos y otros de las partes vegetativas.

Otros factores que pueden afectar a la composición de los nutrientes en los tejidos de las plantas son las plagas y enfermedades, y éstas hay que tenerlas también en cuenta para evitar interpretaciones equivocadas de la composición de los tejidos (BERGMANN et al., 1974; KIRKPATRICK et al., 1964). Los factores genéticos también pueden ser importantes (VOSE, 1984).

### 1.3.- METODOS DE DIAGNOSTICO.

#### 1.3.1.- Rango óptimo o nivel crítico.

Puesto que ni siquiera hoy día son conocidas completamente las funciones de cada elemento en la nutrición vegetal, la estimación de las

concentraciones requeridas para el máximo crecimiento habían de ser meramente empíricas, de modo que la evaluación del estado de nutrición de la planta ha ido evolucionando gradualmente, dando lugar (THOMAS, 1945) al desarrollo de dos escuelas de pensamiento, respecto al modo de interpretación de los resultados. Una usa como criterio, la selección de los valores mínimos o niveles de cada nutriente por debajo de los cuales la experiencia indica la existencia de deficiencias del elemento en cuestión. La otra escuela de investigadores, usa un factor llamado "cantidad o intensidad de nutrición" y además valora la influencia de los factores interferentes, tomando en consideración las interrelaciones o equilibrios de los nutrientes a través del factor "calidad de nutrición".

GILBERT et al. (1927) observaron que la adición de un fertilizante al suelo incrementaba el contenido de los respectivos nutrientes en la planta, e iba asociado a un incremento de cosecha cuando los niveles de nutrientes eran suficientemente bajos en la planta. Esta misma observación fue hecha por LAGATU y MAUME (1934) casi al mismo tiempo y desde entonces, por numerosos autores.

MACY (1936) refirió la concentración de nutrientes y la respuesta de la planta a tres zonas de nutrición: una zona de "mínimo porcentaje" en la que ,la concentración de nutrientes permanece constante cuando crece la cosecha; una zona de "carencia" en donde la concentración de nutrientes y la cosecha crecen simultáneamente y una zona de "consumo de lujo" donde la cosecha permanece constante, aunque se incremente la concentración de nutrientes. El "porcentaje crítico" de cada nutriente en cada clase de planta separa la zona de "consumo de lujo" de la "carencia".

La concentración crítica de un nutriente con respecto al crecimiento puede definirse (ULRICH, 1952) bien en términos de la concentración que es justamente deficiente para el crecimiento máximo, o bien la que es justamente adecuada para dicho crecimiento, o como la concentración que separa la zona de deficiencia de la de suficiencia. Esta última definición es la dada en

el trabajo de MACY (1936). Aunque las tres definiciones subrayan diferentes puntos de vista, en la práctica conducen a las mismas concentraciones críticas, pues éstas, determinadas experimentalmente, no son un punto (ULRICH, 1952; FERNANDEZ-FABREGAS, 1974), sino en un estrecho rango de concentraciones por encima del cual la planta está suficientemente nutrida y por debajo es deficiente en el elemento en cuestión. Pero desde el punto de vista experimental, es mucho más fácil determinar la concentración de nutrientes cuando ésta es justamente deficiente para el máximo crecimiento (variación muy acusada en la pendiente de la curva), que cuando es suficiente para el máximo crecimiento (variación nula en la pendiente).

Se ha observado (ULRICH, 1946), que si bien no existen efectos apreciables sobre la cosecha, cuando hay grandes fluctuaciones en la concentración muy por encima de los niveles críticos, un elemento puede afectar la utilización de otro.

Pueden encontrarse otras definiciones en la bibliografía. Así, LOUE (1980), lo define como: "el porcentaje de un elemento en la hoja (u otro órgano) por debajo del cual la fertilización con este elemento tiene grandes probabilidades de incrementar los rendimientos". Según FERNANDEZ-FABREGAS (1974): "Es la concentración del elemento en que más probabilidad existe de que se encuentre en proporción equilibrada con los otros nutrientes de la planta".

Por lo tanto la interpretación de los resultados del análisis de hoja generalmente se basa en niveles críticos; los valores inferiores a estos se toman para indicar que el suelo es incapaz de suministrar una cantidad suficiente de determinado nutriente. Como la escasez de un determinado nutriente frecuentemente indica la existencia de cambios en otros nutrientes, se estudian a veces las razones entre cada dos elementos, para identificar el equilibrio, y ésto se puede extender a las razones anión/cación. La interpretación se puede basar en las comparaciones entre muestras procedentes de plantas sanas y enfermas en la misma zona, o bien

entre dos muestras procedentes del volumen de cosecha y plantas patrón seleccionadas de las cuales se toman muestras regularmente para controlar las fluctuaciones estacionales e incontroladas, inducidas ambientalmente. Generalmente se pueden encontrar buenas relaciones de trabajo entre la concentración de nutrientes, rendimiento y suministro de fertilizantes para cada localidad específica en un año determinado. La interpretación se complica de año en año, así como por variaciones que también existen entre una y otra localidad, incluso de un lugar a otro, que son difíciles de explicar.

El uso de cantidades variables de materia seca de muestra como base para expresar la concentración total de nutriente, no es muy satisfactorio; debería ser ventajoso el usar un nivel de materia seca, de peso fijo, como denominar (NYELSEN, 1973) o unidad de materia seca como medida del crecimiento de la cosecha y relacionar con esta base los niveles de nutriente. JOHANSEN (1978) informó que con el nitrógeno, del Desmodium intortum, el fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, aluminio, boro y manganeso en las partes de las plantas de edad fisiológica similar, disminuían con la edad de la planta, lo que hace necesaria una edad de planta estandar para la toma de muestras. Cuando los resultados eran expresados en relación con el agua del tejido, las concentraciones de fósforo, azufre, magnesio, aluminio, boro y manganeso cambiaban poco con la edad de la planta porque el porcentaje de materia seca en todas las partes de ésta, aumentaba con la edad. Al expresar los resultados del análisis de las hojas como proporción del peso fresco, la correlación entre las cenizas totales y el área de la hoja no es generalmente aceptable. La mayoría de las cosechas se recogen en un intervalo de tiempo uniforme hacia finales de la etapa de crecimiento (cuando la cosecha está madura) y la variable en estudio se hace relacionar con la velocidad de crecimiento o la acumulación de materia seca.

Los análisis de tejido pueden producir resultados muy variables para las cosechas cultivadas al aire libre, en el ambiente natural, porque





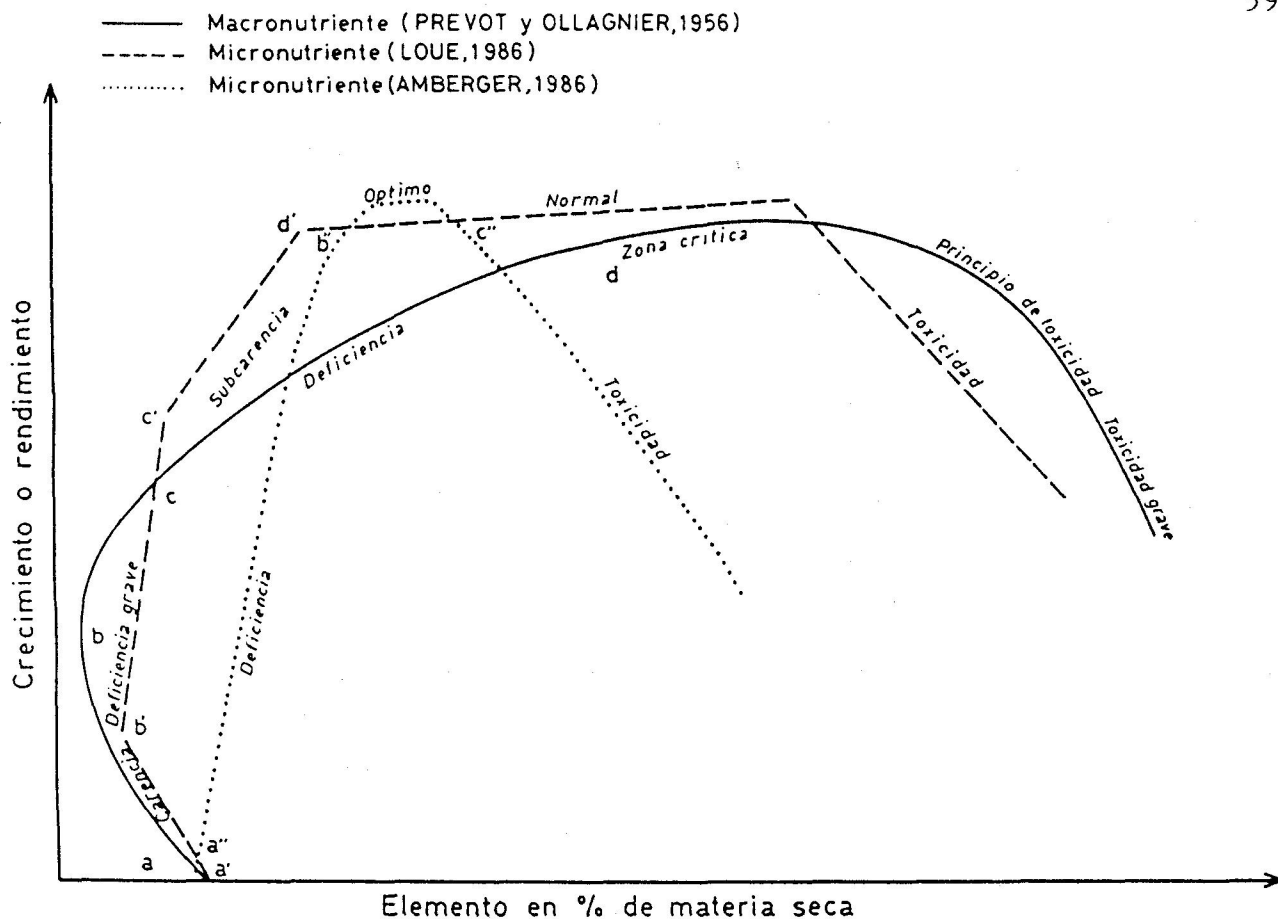


Fig.1.- Relación entre el rendimiento y el nivel en un elemento nutritivo

reflejan el factor de intensidad del suelo que está, en sí mismo, notablemente afectado por las condiciones de humedad (GUZMAN et al., 1984).

Resumiendo, el fin de los diagnósticos es determinar, en presencia o en ausencia de alteraciones nutricionales, si un nutriente es o no un factor limitante del rendimiento. En el estado actual de los conocimientos, la gran mayoría de los diagnósticos están motivados por los desórdenes nutricionales aparentes, y no por el cuidado de realizar una nutrición óptima o tal vez hipotética (INGESTAD, 1970, 1971).

La relación general se basa en el rendimiento o crecimiento en función del nivel, en un órgano analizado, de un elemento y es a menudo representado para los macronutrientes según la Fig. 1 (PREVOT y OLLAGNIER, 1956). Esta curva corresponde a las zonas sucesivas llamadas de carencia, de deficiencia grave (con síntomas foliares y de otros órganos aparentes),

de deficiencia (con síntomas cada vez menos evidentes, si no ocultos). La parte de a, b corresponde a un efecto de dilución del elemento, con una pequeña dosis apartada se obtiene un incremento neto en el rendimiento.

Para los micronutrientes, la representación curvilínea no es satisfactoria, pues se pasa muy rápidamente de niveles de deficiencias de la planta a los niveles normales. Curva a', b', c', d' de la Fig. 1. La parte a', b', c' de la curva está en general estudiada con bastante buena precisión para ciertos micronutrientes. La parte c', d' corresponde al concepto de subcarencia, sin signos visibles, utilizada sobre todo para los micronutrientes (LOUE, 1986). Para AMBERGER (1986) también el comportamiento de los micronutrientes es diferente de los macronutrientes: (Fig. 1 )

deficiencia (a"), óptimo (b") y toxicidad (c"), es realmente pequeño el rango de concentración óptimo.

Existen numerosos ejemplos en los que se han descubierto deficiencias por comparación de los niveles obtenidos en hoja, con los patrones normales. Así mismo, el principio de los valores, niveles o rangos óptimos se ha usado también en la interpretación de los resultados por autores que usan los llamados "tests rápidos" de tejidos vegetales (SANCHEZ y ROMERO, 1986; VARGAS et al., 1986).

### 2.3.2.- Relación entre nutrientes.

Parece que la aproximación más lógica al problema de diagnóstico foliar sería incluir las relaciones cualitativas y cuantitativas que ligan los elementos y tratar de encontrar el balance óptimo (o proporción) de los mismos (que se tendrá para una cosecha máxima) pudiendo diagnosticar, pues, en función de dicho balance de nutrientes. Surge así el concepto de equilibrio de nutrientes, en el cual se considera la proporción de los elementos en tejido seco, así como la concentración actual en ella. Inicialmente, LAGATU y MAUME (1934) y THOMAS (1937) consideraron primero los elementos nitrógeno, fósforo y potasio. La suma de los porcentajes

$N + P_2O_5 + K_2O$  referidos a base seca la llamaron "intensidad de nutrición"; y "calidad de nutrición" a la proporción  $N:P_2O_5:K_2O$  calculados como miliequivalentes y expresados después en porcentaje del total de miliequivalentes. Esta proporción, denominada unidad N-P-K se expresa en miliequivalentes porque el factor calidad debe ser dependiente y estar relacionado con las reacciones químicas que se producen en la hoja. Operando análogamente sobre los resultados analíticos de  $K_2O$ ,  $CaO$  y  $MgO$ . Los cambios en la calidad de nutrición se seguían en un diagrama triangular.

El trabajo de estos investigadores despertó un gran interés en el diagnóstico foliar y muchos autores adoptaron los conceptos de su técnica.

Sin embargo, y a pesar de que parece mucho más lógico el razonamiento del equilibrio nutritivo, muchos autores siguen el método de relacionar individualmente el contenido de cada nutriente en hoja con la producción, obteniendo resultados más o menos aceptables según las circunstancias.

THOMAS y MACK (1940) encontraron que el equilibrio N-P-K y la intensidad de la nutrición se ven influidos por los cationes así como por microelementos, como posteriormente comprobó GALIANO (1971). Así mismo, DIOS VIDAL y ALBAREDA (1954) comprobaron en varios tipos de cultivos que el efecto de las deficiencias de los micronutrientes hierro y manganeso respecto a sus interacciones con los elementos nitrógeno, fósforo y potasio era "la constancia en la elevación de la intensidad de nutrición de las hojas visualmente deficientes en comparación con las normales". En general, las deficiencias visuales severas van acompañadas de un aumento de los tres factores N,  $K_2O$  y  $P_2O_5$  y las de ligera deficiencia disminuye comunmente el potasio y aumenta el nitrógeno y fósforo.

Después, SHEAR et al. (1948) han extendido el concepto de balance de nutrientes e intensidad, incluyendo todos los elementos nutrientes esenciales en la hoja. Según ellos, el máximo crecimiento y cosecha se presenta solamente cuando la intensidad y el balance son óptimos. Aunque parece lógico considerar que, en la producción máxima todos los elementos

esenciales tienen un balance específico e intensidad propia, no obstante, las dificultades prácticas para establecer este equilibrio no serían fáciles de superar experimentalmente. Sería más eficaz, dado el escaso conocimiento que aún se posee de las funciones de los nutrientes en la planta, estudiar las relaciones menos complicadas hasta que se posea un conocimiento más profundo de aquellas.

Según THOMAS (1945), dado que generalmente la deficiencia de los suelos se da en nitrógeno, fósforo y potasio el empleo de índices con sólo estos tres nutrientes es adecuado para medir el estado nutricional de la planta.

Según RECALDE (1976), para establecer una descripción completa del estado nutritivo de un cultivo se debería de tener en cuenta, como indican SHEAR et al. (1948), el equilibrio nutritivo entre todos los elementos esenciales. Como ésto en la práctica resulta extremadamente difícil, cuando no imposible, como antes se dijo, emplea una línea de trabajo más simple considerando sólo los macroelementos (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio), o aún más sencilla con sólo nitrógeno, fósforo y potasio que son los componentes de los abonos más frecuentemente empleados.

En la relación nutriente-producción se han de distinguir, según RECALDE y ESTEBAN (1966) dos factores: cantidad y proporción, los cuales determinan dos tipos de deficiencias, respectivamente: 1) Deficiencia absoluta, determinada por el contenido de nutrientes en la hoja y, 2) Deficiencia relativa, dependiente de la proporción entre los nutrientes. Estos dos conceptos son análogos a los de "alimentación global" (intensidad) y "equilibrio fisiológico" (calidad) propuestos por la escuela de LAGATU y MAUME en Montpellier.

RECALDE (1976) prefiere describir el estado nutritivo de una planta en función de la "calidad" de la nutrición por tres razones:

- 1) Se ha demostrado que el factor "intensidad" de la nutrición está influido por la variedad que se cultiva, cosa que no ocurre con el factor

"calidad" (BOUAT et al., 1954).

2) Al aumentar la concentración de elementos nutritivos en el interior de la planta, varía simultáneamente su proporción con los otros elementos, por lo que resulta muy difícil o imposible de distinguir el efecto que sobre la cosecha tiene el cambio de concentración del ejercido por el cambio de proporción.

3) Se ha demostrado numerosas veces que la concentración de un determinado elemento nutritivo en el interior de la planta no es independiente de la concentración de los otros elementos nutritivos.

Por otra parte (FERNANDEZ-FABREGAS, 1974), el factor "intensidad" y el factor "calidad" no son independientes pues la variación en un determinado sentido de uno de los elementos nutritivos, implica la variación en sentido contrario (o en el mismo sentido) de los demás, por lo que basta el factor calidad o equilibrio nutritivo para diagnosticar la nutrición.

Según RECALDE (1976), la manera más simple de describir la "calidad" de la nutrición es por medio de las proporciones binarias. Se apoya en los trabajos de HOMES (1967) sobre cultivos hidropónicos, el cual estableció una relación gráfica entre la producción y la proporción de cualquier pareja de elementos esenciales. La gráfica obtenida es siempre una curva convexa que alcanza un máximo bien definido. RECALDE admite, a partir de lo anterior que la proporción binaria productora de la máxima cosecha es una constante nutritiva para cada cultivo.

RECALDE (1976) intenta obtener una descripción suficientemente exacta del equilibrio nutritivo correspondiente a los seis macroelementos de origen mineral anteriormente citados (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio) a partir de las relaciones binarias (procedentes de la máxima cosecha) que pueden establecerse entre los seis elementos y obteniendo la media de los seis posibles procedimientos diferentes de cálculo de la proporción múltiple de dichos elementos, cada uno de los cuales se obtiene considerando un elemento común en todas las proporciones binarias. Según

este mismo autor, "el equilibrio óptimo está establecido genotípicamente y es, por tanto, común a todas las plantas de la misma especie y su utilidad descansa sobre las siguientes posibilidades:

1º) Diagnosticar exactamente la naturaleza e intensidad de las deficiencias de un cultivo, independientemente de la variedad, el clima y condiciones en que se realiza el cultivo.

2º) Controlar la eficacia de las medias de todo tipo (principalmente el abonado) que se tomen con objeto de corregir las deficiencias nutritivas previamente diagnosticadas.

3º) Conocer la capacidad nutritiva de un suelo, lo que permite establecer de una forma general las cualidades favorables y desfavorables de los principales tipos de suelo, o lo que es lo mismo, obtener una calificación agrícola de los mismos".

De las relaciones binarias óptimas puede deducirse la proporción múltiple óptima, es decir, el equilibrio nutritivo entre todos los nutrientes. En el caso de sólo tres nutrientes, las relaciones binarias óptimas se pueden representar gráficamente en un diagrama de coordenadas triangulares. Cada relación binaria viene representada por una línea recta, y el punto donde se encuentran marca la proporción óptima entre los tres nutrientes, o sea, su equilibrio nutritivo. Teóricamente, las rectas deberían cortarse en un punto, sin embargo, los errores experimentales hacen que dejen entre ellas una zona triangular, más o menos amplia, según el error, cuyo centro se considera como el punto que marca la proporción óptima entre los tres nutrientes (GALIANO, 1971).

ESTEBAN (1975) aplica el concepto de equilibrios fisiológicos: N-10P-K y K-Ca-Mg a algunos de los cultivos de frutales más importantes basándose en los niveles críticos considerados como óptimos y obtiene la conclusión de que los valores obtenidos son independientes de las condiciones ecológicas y de cultivo.

GONZALEZ y ESTEBAN (1974), trabajando en chirimoyo encuentran como

equilibrio óptimo provisional N=45; 10P=30 y K=25.

JAIME y ESTEBAN (1977) y JAIME et al. (1978) estudian en aguacate, la evolución de los equilibrios fisiológicos N-10P-K y K-Ca-Mg a lo largo del ciclo vegetativo, llegando así mismo a la conclusión, de que los índices suministrados por los equilibrios fisiológicos son más eficaces para el diagnóstico nutricional que los procedentes de la concentración de elementos, y además permanecen constantes frente al tiempo.

MAZUELOS et al. (1979) estudian en olivo la evolución de los equilibrios fisiológicos N-10P-K y K-Ca-Mg frente al tiempo, encontrando que permanecen prácticamente constantes durante todo el año. Así mismo, calculan la proporción ternaria (equilibrio) Fe-Mn-Zn y comprueban que se mantiene constante durante todo el año presentando un valor (que proponen como óptimo tentativo) próximo a los del equilibrio N-10P-K: Fe=54; Mn=30 y Zn=16.

Asimismo, ESTEBAN et al. (1980) aplican el concepto de equilibrio fisiológico al cultivo de remolacha azucarera proponiendo como óptimos provisionales los siguientes valores de equilibrio:

$$N-10P-K = 49:31:20; K-Ca-Mg = 42:35:23; Fe-Mn-Zn = 49:36:15$$

similares a los de otros cultivos, sobre todo los equilibrios N-10P-K y Fe-Mn-Zn.

SORIA et al. (1982) los aplica a almendro obteniendo: N-10P-K = 49-27-24; K-Ca-Mg = 21-62-17 y Fe-Mn-Zn = 46-33-21.

Esto mismo se comprobó con la adelfa obteniendo unos valores de N-10P-K = 45-30-25, K-Ca-Mg = 25-60-15 y Fe-Mn-Zn = 50-30-20 (GUZMAN et al., 1984a). Con tilo: N-10P-K = 39-43-18; K-Ca-Mg = 27-64-9 y Fe-Mn-Zn = 70-21-9 (GUZMAN y ROMERO, 1985). En nogal: N-10P-K = 49-20-31; K-Ca-Mg = 49-37-14 (GUZMAN et al., 1984b) y Fe-Mn-Zn = 52-33-15 (GUZMAN et al., 1984c). Para habas: N-10P-K 41-32-27; K-Ca-Mg = 50-43-7 concordantes con los de ESTEBAN et al. (1982) y Fe-Mn-Zn = 65-32-3 (SANCHEZ et al., 1984). Y en roble: N-10P-K = 34-51-15; K-Ca-Mg = 37-52-11 y Fe-Mn-Zn = 34-61-5

(GUZMAN et al., 1986a).

### 2.3.3.- Indices.

El interés por simplificar la interpretación del estado nutricional nos llevó a utilizar al denominado Índice Vegetativo (I.V.) que es un intento de aunar la mayoría de los macronutrientes. El Índice Vegetativo permite seguir el comportamiento de la actividad metabólica de la planta a lo largo del ciclo del cultivo. Durante éste, se suceden a veces, con gran rapidez, las etapas de crecimiento, floración, fecundación, desarrollo del fruto y maduración de éste. Dicho índice define muy bien el proceso de envejecimiento de un vegetal que va a lo largo de su vida disminuyendo su contenido en los tres nutrientes fundamentales (N,P y K), mientras que las células endurecen sus membranas perdiendo funcionalidad por el aporte casi ininterrumpido de calcio. Durante las primeras etapas del crecimiento los valores son, generalmente superiores a la unidad, siendo tanto más elevados cuanto más vigorosa es la planta, en cuyo caso, el descenso del índice, como consecuencia del crecimiento y la cosecha, es muy acusado y se produce en un período de tiempo más o menos largo, dependiendo de las condiciones favorables al crecimiento y desarrollo de las plantas. Utilizando este índice se han obtenido valores medios de 0.62 para la adelfa (GUZMAN et al., 1984a); entre 0.64 y 0.94 para tilo (GUZMAN y ROMERO, 1985); de 1.08 para castaño (GUZMAN et al., 1986b) y entre 1.35 y 1.55 para roble (GUZMAN et al., 1986a).

El planteamiento teórico del Índice de Hierro (I.Fe) se basa en la relación iónica existente entre el hierro y el fósforo y potasio que son sus antagonistas. La existencia, en el medio de cultivo de cantidades elevadas de fósforo, unida a un pH neutro o alcalino, provoca la precipitación del hierro en forma de fosfato férrico en el sistema vascular de la hoja e incluso en la raíz. El Índice de Hierro se ha empleado para la corrección de la clorosis férrica en cultivos. Los valores obtenidos para este índice



son de 1.49 en adelfa (GUZMAN et al., 1984a); para el tilo entre 1.35 y 1.97 (GUZMAN y ROMERO, 1985); valores próximos a la unidad para el nogal (GUZMAN et al., 1984c) y valores que oscilan entre 0.83 y 1.13 para el roble (GUZMAN et al., 1986a).

De cualquier forma, debe señalarse que la combinación de diversos métodos de interpretación da muchas veces una excelente información sobre todos los aspectos que influyen sobre la composición química de la hoja, permitiendo formar una idea más clara sobre la fecha más adecuada para recolectar la muestra, tejido más representativo, efectos producidos por la fertilización, niveles críticos y valores óptimos de los nutrientes.

#### 2.3.4.- Balance catión-anión.

La suma total de equivalentes aniónicos en la célula o en un tejido es por tanto virtualmente igual a la suma total de cationes. Los iones inorgánicos son captados a diferentes velocidades por las raíces de las plantas. Algunos iones como el nitrato, potasio o cloruro, son captados muy rápidamente mientras que la captación de otros como el calcio y sulfato es relativamente lenta (KIRKBY y KNIGHT, 1977). Estas diferencias en la velocidad de captación significa que la planta normalmente capta los aniones y cationes en distintas cantidades de la solución de nutrientes. En experimentos realizados con raíces y semillas jóvenes ULRICH (1941) y posteriormente JACOBSON et al. (1955), indicaron que la captación anión-catión desequilibrada es compensada en la planta por la acumulación o degradación de aniones orgánicos no volátiles y los malatos en particular (DIJKSHOORN y LAMPE, 1962). En el medio nutritivo el balance iónico fue mantenido por la excrección por parte de las raíces de los  $H^+$  (exceso de captación de cationes) o  $OH^-$  (exceso de captación de aniones). La presencia de anhídrido carbónico, procedente de la respiración, en las raíces de las plantas implica la aparición de ión bicarbonato más que de  $OH^-$  en el medio nutritivo cuando en la planta se detecta un exceso de aniones (DEJAEGERE et al., 1984; WALLACE y WALLACE, 1984; WALLACE y ABOU-ZAMZAM, 1986).

El concepto discutido arriba esta ilustrado por los interesantes datos obtenidos por HIATT (1967a). Incubando raíces jóvenes de plantas de cebada durante un período de tiempo relativamente corto en disoluciones de sulfato potásico, cloruro potásico o cloruro cálcico. Aquellas raíces tratadas en la disolución de sulfato potásico absorbían potasio a una velocidad mucho mayor que sulfato por lo que la captación de cationes excedía a la de aniones (se excretaban hidrogeniones a la solución nutritiva). El déficit de los equivalentes de aniones en las raíces se compensaba por el aumento de la acumulación de aniones orgánicos. Esta acumulación se refleja en la alta velocidad de asimilación de anhídrido carbónico, indicativa de un aumento en la síntesis de ácido orgánico. En el tratamiento con cloruro cálcico se produjo la situación contraria. Aquí, la captación de cloruro excedía en gran proporción a la de calcio (se excretaba bicarbonato a la solución nutritiva) resultando así un exceso de captación de aniones inorgánicos dentro de la célula. Este exceso era contrarrestado por la reducción en la velocidad de asimilación de anhídrido carbónico y también por una clara degradación de aniones orgánicos. En el tratamiento con cloruro potásico, la absorción de potasio y cloruro ocurría a velocidades similares (se producía una pequeña variación en el pH del medio nutritivo) por lo que los niveles de los aniones orgánicos en las raíces se modificaba sólo un poco y la velocidad de asimilación del anhídrido carbónico no fue, practicamente, afectada.

Para entender la razón por la cual el malato tiene un papel compensador en los tejidos de las plantas, es necesario saber algo sobre la bioquímica del ácido málico (ARGYRIADIS et al., 1976). A pH ligeramente ácidos, como los que existen en la mayoría de las células (de 5 a 6), el ácido málico está presente casi exclusivamente en forma dissociada como un anión divalente (HIATT, 1967b). Lo mismo debe ser verdad en el citoplasma donde el pH suele ser algo mayor que en la vacuola (SMITH y RAVEN, 1976a). Existe evidencia de una separación entre los metabolismos de las mitocondrias,

citoplasma y vacuola para el malato. La mayoría del malato, sin embargo, parece estar en la vacuola asociado con cationes inorgánicos mientras que los procesos metabólicos están muy asociados con el citoplasma (OSMOND, 1976). La síntesis y degradación del malato tiene lugar en el citoplasma y parece estar controlada por el pH.

La dependencia de la acumulación del malato en la célula con el pH explica los resultados de HIATT (1967b). En el caso del sulfato potásico, la alta velocidad de captación de potasio induce un intercambio de  $H^+$  en las raíces. El pH en los tejidos de las raíces aumenta y el malato se acumula. Contrariamente, cuando se aplica el cloruro cálcico a las raíces, la captación de aniones excede a la de cationes. El ión bicarbonato es excretado por las raíces, el pH disminuye a la vez que el nivel del malato.

La forma y nivel de nutrición de nitrógeno puede influenciar considerablemente el balance catión-anión en las plantas (JUNGK, 1967). Las plantas alimentadas con nitratos captan generalmente un exceso de aniones y el medio nutritivo en el que están creciendo se vuelve alcalino (KIRKBY y MENGEL, 1967). La asimilación de los nitratos después de la captación da lugar a un efecto de alcalinización en la planta y, por tanto, a una acumulación de aniones orgánicos. La carga aniónica debida a los nitratos se transfiere a los aniones orgánicos dentro de la planta. Algunas de las cargas del medio nutritivo pueden deberse a los iones bicarbonato que se encuentran para intercambiarse debido al exceso de captación de aniones (BEUSICHEM et al., 1985).

La transferencia de carga debida a la asimilación de nitrato, puede deberse a la acumulación de aniones orgánicos en la planta (DIJKSHOORN et al., 1968). Aumentando los niveles de nutrición de nitratos, se estimula la síntesis de aniones orgánicos y por tanto la acumulación de cationes. Esto se demuestra con los datos obtenidos por KIRKBY y KNIGHT (1977) en estudios realizados con plantas de tomates. Aunque el nivel de cationes de la disolución de nutrientes se mantuvo constante, las concentraciones de

cationes y aniones orgánicos aumentó tremendamente en respuesta a la nutrición con nitratos. El aumento del nivel de nutrición del nitrato estimula a la velocidad de captación y la translocalización de nitrato y los cationes. Siguiendo el proceso de reducción del nitrato en la parte más superior de la planta, se observó que los aniones orgánicos se acumulaban para compensar la carga catiónica, acompañando originalmente a los iones nitrato (BLEVINS et al., 1974).

De la discusión anterior se deduce que aquellas plantas alimentadas con nitratos contienen altos niveles de cationes y aniones orgánicos. En contraste, aquellas plantas abastecidas con amonio contienen normalmente bajas concentraciones de cationes inorgánicos (Ca, Mg, K) y ácidos orgánicos, mientras que los elementos absorbidos como aniones (S, P, Cl) están presentes en altas concentraciones (COIC et al., 1962). Este hecho se indica en el balance catión-anión de las hojas de las plantas de mostaza blanca que crecen con abastecimiento de iones nitrato o amonio como fuente de nitrógeno (KIRKBY, 1968).

#### 2.3.5.- Modelos matemáticos.

El análisis de las plantas proporciona una medida útil del estado de la cosecha y puede ayudar a mejorar el tratamiento de fertilización. La interpretación del análisis consiste en comparar concentraciones de elementos en estudio con niveles críticos establecidos ya, o con rangos óptimos para confirmar la adecuación de cada elemento independientemente (CHAPMAN, 1966; SMALL y OHLROGGE, 1973; PLANK, 1979). Por otra parte SMALL y OHLROGGE (1973) resaltaron que no es cierto que la soja responda a una fertilización directa, particularmente al nitrógeno, lo que hace, que definir los niveles óptimos sea difícil. La aproximación al rango óptimo identifica solamente el elemento limitante más sencillo, o muy directamente relacionado con la productividad (ULRICH y HILLS, 1973). No es posible una medida objetiva del balance nutritivo, aunque las interacciones entre iones son importantes en la

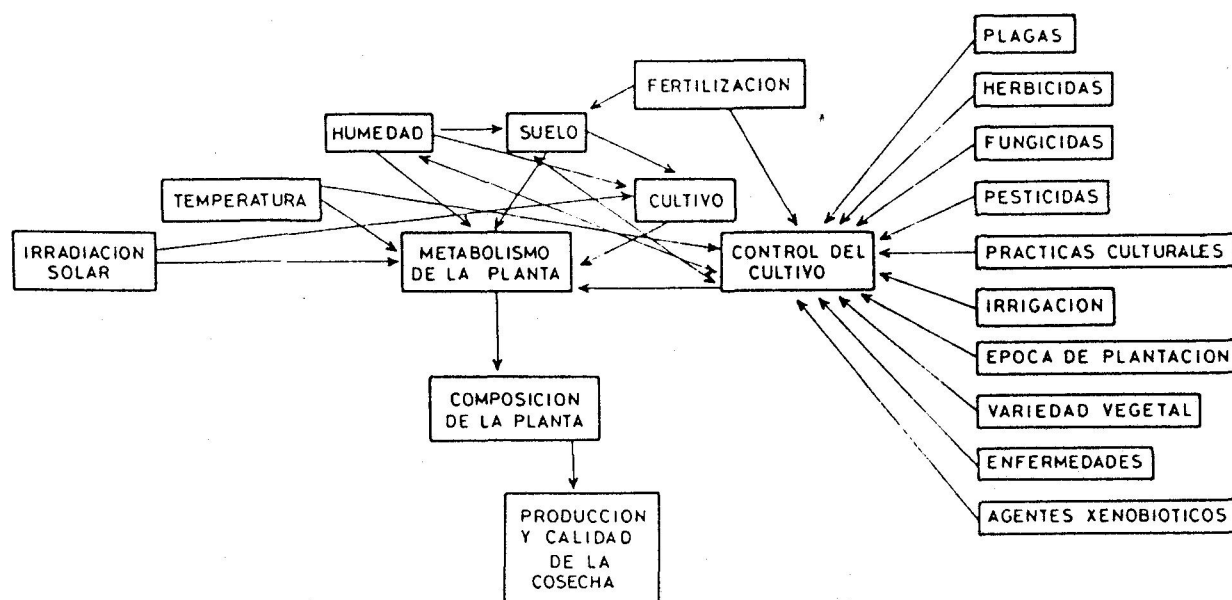


Fig. 2 - Interacción entre los factores que afectan la composición de la planta, producción y calidad de la cosecha.

aplicabilidad de nutrientes para el desarrollo de la planta (FLETCHER, 1961; FRAZIER, 1966; CHAPMAN, 1967; JONES, 1967; HANWAY y WEBER, 1971). Además, la concentración de nutrientes en el tejido de la planta se ha visto que varía con la edad fisiológica de la planta (OHLROGGE, 1960; HENDERSON y KAMPRATH, 1970; SABBE, 1974; HANWAY, 1976), variedad (FLETCHER, 1961; HUGHES, 1971; KIM y LEECH, 1986), parte de la planta muestreada y posición de la muestra en la planta (HANWAY y WEBER, 1971; SABBE, 1974). SMALL y OHLROGGE (1973) apuntan que las normas de diagnóstico se basan en experiencias que generalmente tienen una productividad alta y que no pueden utilizarse para productividades bajas. Finalmente, para minimizar los efectos de algunas de estas variables de las muestras utilizadas para el análisis foliar, deben recolectarse las hojas fisiológicamente maduras y con anterioridad o en un período anterior a la fase de reproducción (SMALL y OHLROGGE, 1973; PLANK, 1979).

Todo lo anteriormente expuesto hizo pensar en un método de diagnóstico que integrara los factores expuestos y algunos más (Fig. 2) y ello dio

lugar al llamado "Diagnosis and Recommendation Integrated System"(DRIS) puesto en práctica por BEAUFILS en 1973 con numerosas especies vegetales, mostrando algunas ventajas sobre la aproximación al rango óptimo.

Las pautas que deben seguirse con el método DRIS son las siguientes:

- En una **primera fase**, se ha de establecer un banco de datos en el cual debe de haber informes básicos concernientes al país, región o comarca donde se va a aplicar el método. El banco ha de tener en cuenta las características del suelo, energía luminosa recibida, los cambios climáticos, la plubiosidad, el potencial genético de las variedades cultivadas, las técnicas culturales, el rendimiento obtenido. Todo ello permite establecer la relación entre los resultados del análisis foliar y los mecanismos fisiológicos del rendimiento.

- En la **segunda fase**, se busca establecer unos valores concernientes a las posibles intervenciones del agricultor para incrementar el rendimiento. Por ejemplo; se ha de saber qué cantidad de fósforo hay que aportar para obtener un nivel óptimo de fósforo en la solución del suelo.

- En una **tercera fase**, se ha de encontrar la relación entre la composición del nutriente en planta y el rendimiento. Se comienza por subdividir a la población de plantas en tres clases representadas por el vigor, calidad y rendimiento. Seguidamente se ha de calcular los valores medios de la concentración, por repetición de un elemento o de las razones entre las concentraciones (Ejemplo: N/P, N/K, N/Ca, N/Mg, N/Na, N/Fe, P/K, etc...).

- La **cuarta fase**, consiste en estudiar la relación entre la composición nutricional de la planta y los factores ambientales, con el fin de conocer la influencia que éstos puedan tener sobre la composición mineral.

- La **quinta fase**, es la aplicación de un tratamiento informático corrector para tener en cuenta las particularidades del muestreo.

El conjunto de estas operaciones constituye un cuadro sólido para

obtener o llegar al diagnóstico nutricional. Este puede concernir a la aplicabilidad de fertilizantes o a una mejora de las prácticas culturales (BEAUFILS, 1973; SUMNER, 1977c; LETZSCH, 1985).

El método DRIS utiliza proporciones de concentraciones entre nutrientes para interpretar el análisis foliar (SUMNER, 1979). En trabajos con árboles productores de caucho (BEAUFILS, 1957), caña de azúcar (SUMNER, 1975; SUMNER y BEAUFILS, 1975; BEAUFILS y SUMNER, 1976 y 1977; SUMNER, 1977b; JONES y BOWER, 1981; MEYER, 1981; ELWALI y GASCHO, 1984), patata (MELDAL-JOHNSEN, 1975), maíz (BEAUFILS, 1971; SUMNER, 1977a,d; ESCANO et al., 1981; ELWALI et al., 1985), avena (CHOJNACKI, 1984), trigo (YIN et al., 1984), vid (SCHALLER y LOHNERTZ, 1984), cítricos (BEVERLY et al., 1984), álamos (KIM y LEECH, 1986) y en soja (PAYNE et al., 1986; BEVERLY et al., 1986) el DRIS resultó que coincidía con los diagnósticos del rango óptimo y con los métodos del nivel crítico.

Por otro lado, el DRIS se utiliza frecuentemente por su baja sensibilidad a las variaciones entre repeticiones y, por lo tanto, puede proporcionar diagnósticos precisos utilizando un tejido diferente del que era recomendado normalmente (SUMNER, 1975, 1977a, b y c; BEAUFILS y SUMNER, 1977; MEYER, 1981), aunque el DRIS fue sensible a las variaciones entre muestras para el caso de los cítricos (BEVERLY et al., 1984). HANSON (1981) demostró que el DRIS era sensible a la edad de la planta cuando estaba próxima la maduración. Ello se debe a que el DRIS se basa en un balance nutritivo, ello indica no sólo el nutriente más limitante, sino también el orden en el cual otros nutrientes pueden limitar la producción (BEAUFILS, 1973; SUMNER, 1975; BEAUFILS y SUMNER, 1977; SUMNER, 1977b).

Los índices del DRIS deben ser interpretados apropiadamente como un valor de una relativa insuficiencia o exceso y no como una deficiencia o toxicidad grave. Los trabajos de SUMNER (1977b) y HANSON (1981) muestran que el DRIS fue útil en el diagnóstico del nivel de nitrógeno, fósforo y potasio en soja. Numerosas y valiosas referencias del método DRIS fueron

comparadas con el método de rango óptimo (SMALL y OHLROGGE, 1973).

Según MALAVOLTA y GOMES (1961), para aplicar su método de diagnóstico, se han de recolectar la tercera y cuarta hoja a los cuatro meses de edad de la planta, si ésta tiene un ciclo biológico de un año. Las muestras se recolectarán por la mañana, analizándose solamente la porción no nerviada. Con todo ello y según su experiencia acumulada demuestra que:

1.- La relación entre dosis de fertilizante aplicada a la cosecha y dada por la ecuación clásica de Mitscherlich, es válida en la gran mayoría de los casos:

$$Y=A(1-10^{-c(X+b)})$$

Siendo:

Y= cosecha obtenida.

X= dosis de fertilizante aplicada.

b= nivel de elemento en suelo.

A= cosecha máxima posible.

C= coeficiente de eficacia del fertilizante.

2.- La dosis de fertilizante capaz de garantizar la máxima producción desde el punto de vista económico, esta dada por la ecuación:

$$X^*=(1/2)X_u + (1/c)\log(w_u/t_xu)$$

Donde:

X\*= dosis de elemento para la que se obtiene la máxima cosecha económica.

X<sub>u</sub>= dosis del elemento que ocasionó el aumento de u en la producción con relación al tratamiento sin ese elemento.

w= precio unitario del producto agrícola.

t= precio unitario del elemento en el fertilizante.

3.- La relación entre el nivel del elemento en hoja y la dosis de





fertilizante obedece, en general, a ecuaciones del tipo:

$$Y=a+dX+eX^2$$

Siendo:

Y= nivel del elemento en la hoja analizada.

X= dosis de fertilizante.

Por medio de ensayos factoriales con diferentes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la fertilización, se determinan los parámetros de la ecuación de Mitscherlich y se calcularon después los valores de  $x^*$  (MALAVOLTA et al., 1963). El análisis de las hojas de esos ensayos permitió, a su vez, determinar los parámetros; haciendo  $X=x^*$ , se obtiene un valor de Y que corresponde al nivel crítico. Los valores de Y son generalmente conocidos para los diversos elementos y diferentes cultivos. Suponiendo que las muestras analizadas dieran un valor  $Y_a$ , la dosis de fertilizante necesaria para obtener un producción máxima estaría dada según MALAVOLTA y DA CRUZ (1971) por:

$$Y-Y_a=a+dX+eX^2$$

La aceptación del hecho de que el "status" nutricional no es más que uno de tantos factores que controlan el rendimiento de la cosecha, junto con una mayor comprensión de otros factores respecto a como influyen en los niveles o dominios típicos, es esencial. Sería deseable una base más amplia y mejor fundamentada para la investigación del rendimiento de la cosecha y un ejemplo de ello es el método del análisis crítico-componentes del campo. La experiencia con las fresas, indica que pueden presentarse gamas bastante amplias de intensidad de los nutrientes en muchas combinaciones posibles, sin alterar, al parecer el comportamiento de la planta. Cuando se considera un concepto más flexible de nutrición donde una estrecha zona o escala de concentración es lo que se tiene en cuenta, más bien que un valor específico separe la deficiencia de las cantidades adecuadas de cada elemento, puede que estemos aceptando una integración de efectos no

nutricionales expresados en concentración de elementos cualesquiera que sean los posteriores estudios de técnicas analíticas o partes de la planta que se lleven a cabo, los elementos o sistemas deberían ser considerados más cuidadosamente respecto al equilibrio, así como a la intensidad de la nutrición.

#### 2.4.- Utilidad del análisis foliar.

En casi todos los sitios en que se realiza investigación intensiva de la nutrición mineral sobre cultivos específicos, el análisis foliar es un instrumento reconocido y útil (SMITH, 1962). De hecho su utilidad es tan ampliamente aceptada que acometer el estudio de la nutrición de una nueva planta o de un antiguo cultivo en un área nueva sin emplear el análisis foliar (o de otros tejidos) es casi impensable. Sería comparable a intentar buscar uranio sin un contador Geiger. Allí donde el análisis foliar se usa como ayuda de diagnóstico, se hacen intentos para refinar y mejorar la técnica e incluir más elementos. Continuamente se buscan más estrechas correlaciones bajo diversos suelos o condiciones climáticas.

El análisis indiscriminado de tejidos vegetales para conocer el estado nutricional de la planta es ciertamente una aproximación empírica a la nutrición misma. Algunos investigadores han criticado el análisis de tejidos aduciendo que tiene poco valor en ausencia de un completo conocimiento de la función de los nutrientes. Actualmente, sin embargo, mientras hay una correlación entre una respuesta tosca como crecimiento y cosecha y contenido de nutrientes, el análisis de planta puede ser una herramienta útil sin esperar al difícil logro de una completa comprensión de la función de los nutrientes. Mientras el conocimiento acerca de la nutrición se habría acrecentado, sin duda, por un completo conocimiento de la función de los elementos, es evidente que con ayuda del análisis foliar y a pesar de sus limitaciones, puede aprenderse mucho acerca de la respuesta de la planta sin conocer el preciso papel jugado por cada uno.

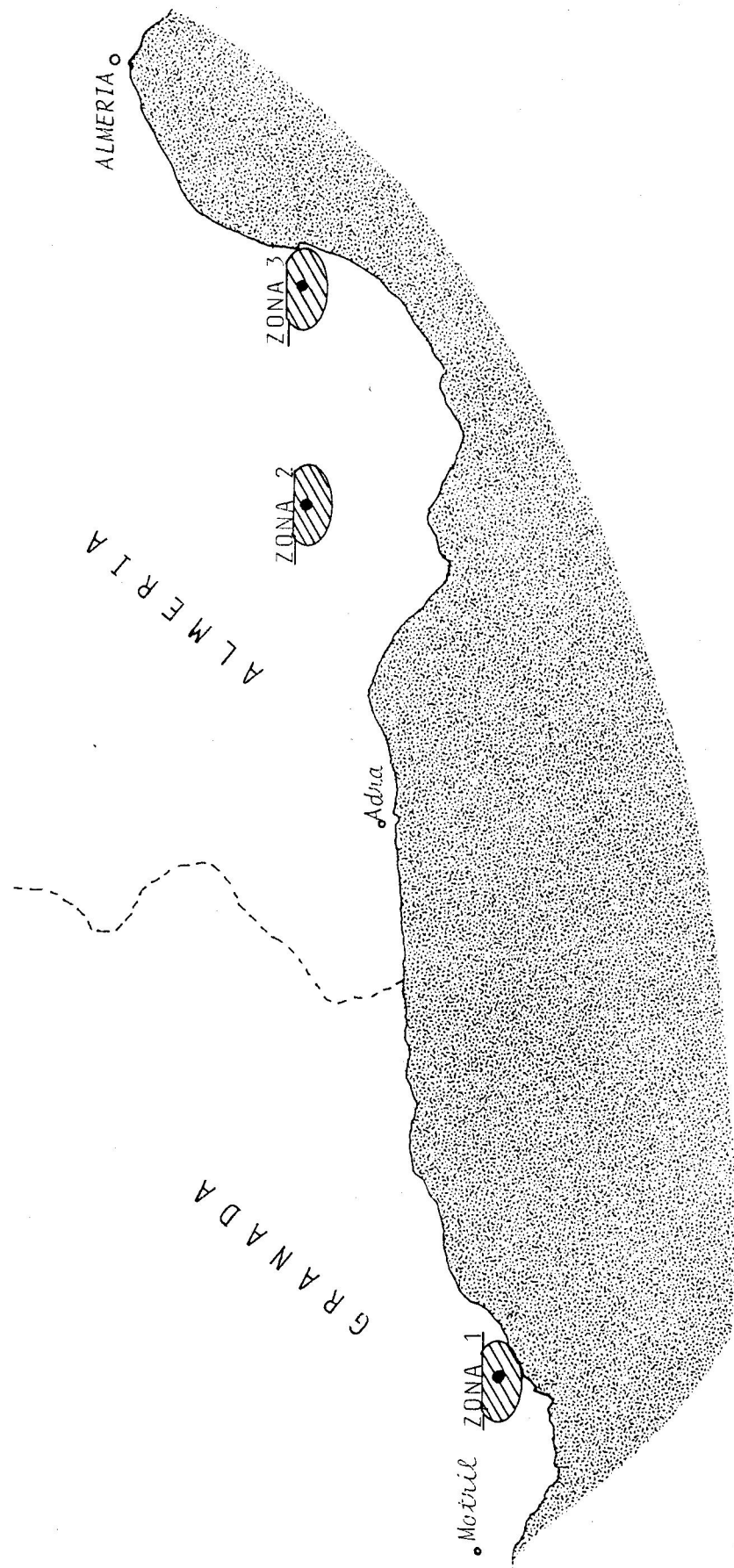
Después de todo lo anteriormente expuesto, podemos sacar la conclusión de que el progreso logrado en la última década no es grande ya que, el establecimiento de técnicas fiables para predecir cuantitativamente la dosis de fertilizantes que hay que aplicar, no están suficientemente elaboradas. Ello no impide que el análisis foliar sea la herramienta más útil de las que disponemos ya que, con respecto a la recomendación correctora de nutrientes, se puede llevar a cabo por algunas de las siguientes razones:

- Diagnosticar o bien confirmar un diagnóstico basado en síntomas visibles o en trastornos que pueden deberse a deficiencia o toxicidad.
- Identificar el rendimiento subóptimo de la planta en ausencia de síntomas visibles de trastornos.
- Identificar el desequilibrio mineral en presencia de un síntoma visible no corregible por la adición de un solo elemento.
- En trabajos de demarcación, para localizar zonas de deficiencias incipientes.
- Para identificar e indicar las interacciones, o los antagonismos entre los nutrientes.
- Para indicar si los nutrientes aplicados han entrado en la planta.
- Como ayuda para comprender el funcionamiento interno de las plantas.
- Como guía para los niveles de mantenimiento de los nutrientes.

Ninguna referencia se hace aquí respecto a relacionar el "status" de nutriente de la planta con el rendimiento potencial bajo condiciones de campo. Mientras que no exista para algunas cosechas suficiente información para poder definir en bruto el "status" nutritivo y la probable necesidad de nutrientes en el caso de deficiencia de un nutriente aislado o para identificar situaciones menos simples con cierto grado de éxito, no podemos relacionar de manera fiable y exacta los resultados con el rendimiento potencial, porque no comprenderemos plenamente las influencias modificadoras

que otros factores ejercen sobre la planta y que bajo condiciones naturales, son en sí mismos imposibles de predecir (como por ejemplo la lluvia o la temperatura).

# MATERIAL Y METODOS



MAPA de Localización de las Zonas.

### 3.1.- LOCALIZACION DE LOS INVERNADEROS ESTUDIADOS.

El área, objeto del estudio, se extiende por el litoral de las provincias de Almería y Granada, y debido a su extensión se han seleccionado tres zonas, representativas por su alta densidad, de invernaderos de características similares:

Zona 1.- Situada en el término municipal de Carchuna (Granada).

Zona 2.- En el término municipal de El Ejido (Almería).

Zona 3.- Localizada en el término municipal de Roquetas de Mar (Almería).

En cada zona se seleccionaron, al azar, nueve invernaderos que se agruparon posteriormente en bloques de tres, atendiendo fundamentalmente a razones de proximidad, (ver mapa)

### 3.2.- DESCRIPCION DE LOS INVERNADEROS.

Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes, para defender las plantas de la acción de los agentes climatológicos externos, y cuyo volumen interior permite el desarrollo de los cultivos durante todo su ciclo vegetativo (SERRANO, 1983).

Los invernaderos del área, que estamos considerando, son en su mayoría de construcción tipo parral, con cubierta plana de polietileno transparente de entre 720 y 800 galgas de espesor, contruidos con rollizos de madera, o tubos de hierro, y alambre galvanizado, cuyas paredes laterales hacen la función de ventanas.

Todos los invernaderos estudiados estaban provistos de un sistema de fertirrigación localizada y controlada, mediante goteros de largo recorrido "inter-lineales", con un caudal que oscilaba entre dos y cuatro litros/hora. Tenían el suelo enarenado, con una capa uniforme, de un espesor que variaba entre 10 y 15 centímetros.

La superficie de los invernaderos, oscilaba entre 1000 y 4000 m<sup>2</sup>

según los casos, y la orientación predominante era Este-Oeste.

### 3.3.- PARAMETROS AMBIENTALES.

Los parámetros ambientales se midieron "in situ", durante todo el tiempo que duró la experiencia, en cada una de las zonas. Los datos representados, en las distintas Figuras, corresponde, al valor medio mensual.

Los valores referentes a temperatura máxima, mínima y media de la atmósfera y suelo del invernadero, así como radiación solar y humedad relativa del interior y exterior del mismo, se encuentran reflejados en las Figs. I a III. Los datos sobre pluviosidad mensual acumulada se encuentran en la Fig. IV (Apendice: Parámetros Ambientales.)

TABLA 1 .-Fertilización aplicada en las zonas durante los dos ciclos biológicos.

	Zona 1						Zona 2						Zona 3					
	Tom.	Pim.	Pep.	Jud.	Mel.	Sand.	Tom.	Pim.	Pep.	Jud.	Mel.	Sand.	Tom.	Pim.	Pep.	Jud.	Mel.	Sand.
1983 / 1984																		
N g/m <sup>2</sup>	45	31	43	20	24	17	42	32	45	16	22	15	39	29	38	18	20	15
P g/m <sup>2</sup>	23	17	20	16	17	21	23	12	21	14	16	20	20	13	18	15	15	20
K g/m <sup>2</sup>	64	43	51	33	31	35	61	41	50	29	30	37	59	40	47	30	26	33
Ca g/m <sup>2</sup>	14	11	10	8	9	10	15	12	9	6	9	9	15	12	8	7	10	9
Mg g/m <sup>2</sup>	15	7	8	7	5	6	14	8	8	6	6	5	14	7	7	7	5	5
Fe mg/L	16	7	9	4	3	4	18	7	8	4	4	2	14	9	10	4	3	3
Mn mg/L	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Zn µg/L	93	86	70	23	39	30	93	75	90	30	40	40	91	73	73	31	31	31
Cu µg/L	93	86	70	31	39	30	93	75	90	30	41	40	91	73	73	31	31	31
1984 / 1985																		
N g/m <sup>2</sup>	43	34	45	23	21	19	40	31	46	18	20	16	39	27	39	21	20	16
P g/m <sup>2</sup>	24	19	20	17	16	20	26	14	23	15	18	21	20	17	19	16	15	19
K g/m <sup>2</sup>	61	47	50	30	29	37	63	44	53	27	31	39	59	41	49	29	23	30
Ca g/m <sup>2</sup>	16	13	10	8	7	9	13	11	11	7	9	9	16	13	8	8	9	10
Mg g/m <sup>2</sup>	17	7	8	6	7	5	15	9	8	7	6	5	16	9	8	8	7	6
Fe mg/L	16	7	8	4	4	4	16	7	8	5	5	3	14	9	9	4	4	3
Mn mg/L	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Zn µg/L	84	85	65	30	35	30	87	70	80	33	45	39	85	75	75	34	35	31
Cu µg/L	84	85	65	30	35	30	87	70	80	33	45	39	85	75	75	34	35	31



### 3.4.- FERTILIZACION.

En todos los invernaderos se realizó la misma fertirrigación durante los dos ciclos biológicos y difería para cada especie en estudio. Se siguieron las recomendaciones de La Agencia de Extensión Agraria (OD. 22/82).

Los fertilizantes aplicados se encuentran en la tabla I.

### 3.5.- AGUAS

El agua que se utiliza para riego, independientemente de cual sea su procedencia, contiene cantidades variables de sales en disolución. La naturaleza y cantidad de estas sales es uno de los principales factores que influye en la calidad de un agua de riego. Esta calidad va a condicionar la productividad y desarrollo vegetativo de las plantas. El esquema de trabajo que se siguió está expresado en la Fig.3 .

#### 3.5.1.- Toma de muestras.

Para obtener una información satisfactoria sobre las características del agua utilizada para el riego, es necesario realizar un muestreo suficientemente representativo, en momentos diferentes, por lo que se hizo en tres periodos distintos cada año y durante los dos años que duró la experiencia.

Varios de los invernaderos de una Zona utilizaban el agua procedente de la misma "fuente", por lo que, una vez localizada ésta, se tomaron nueve muestras, que comprendían las aguas utilizadas en los invernaderos en estudio.

Las determinaciones se realizaron el día siguiente al de la recolección.

#### 3.5.2.- Análisis.

El análisis de agua se realizó según las técnicas analíticas siguientes:

pH: Electrodo de vidrio (RODIER, 1981).

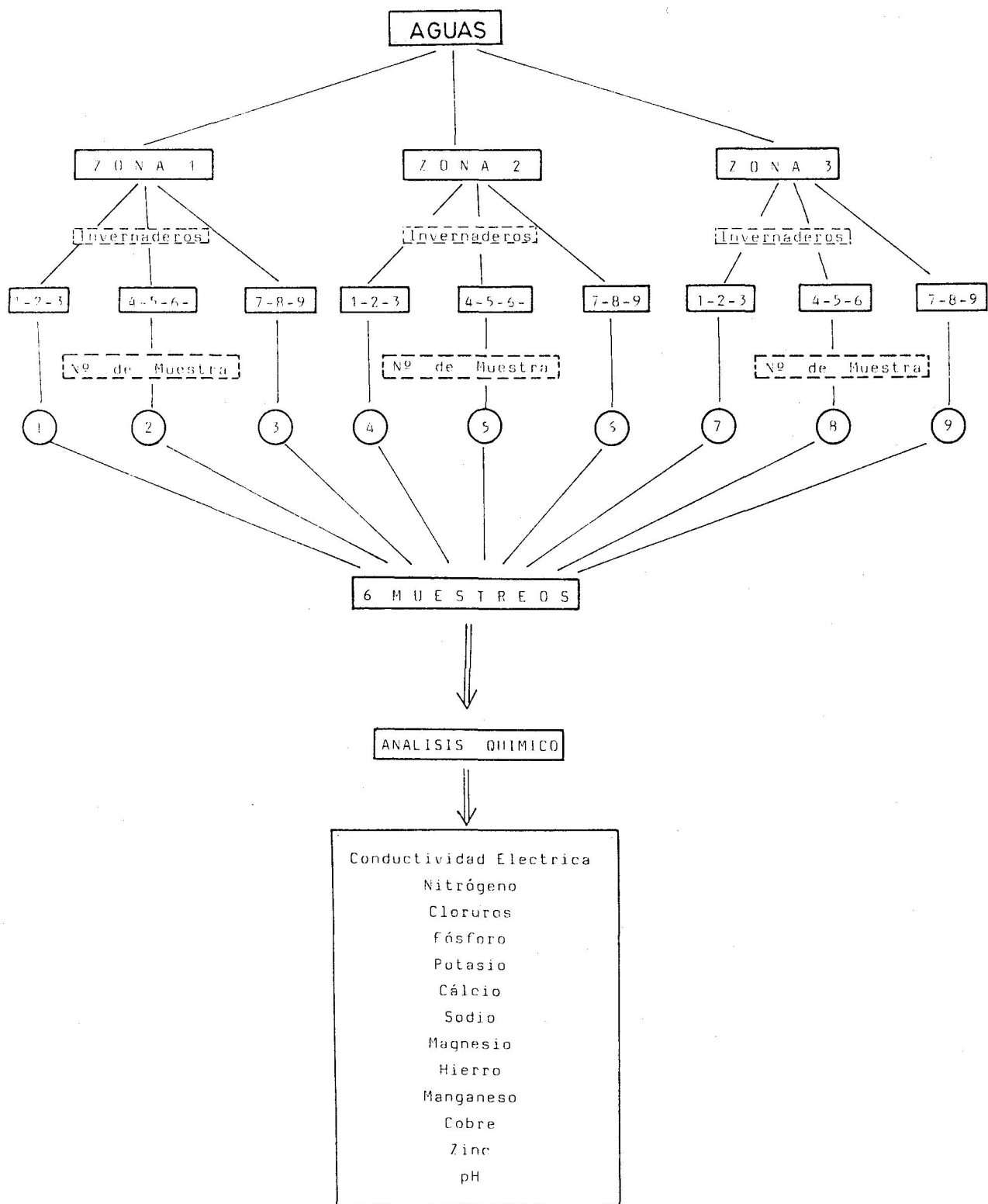


Fig. 3 .- Esquema de trabajo para las aguas suministradas a los invernaderos.

Conductividad eléctrica: Conductivímetro con puente de Wheatstone (RODIER, 1981).

Nitrógeno: El método de Kjeldahl modificado para incluir a los nitratos (GOLTERMAR, 1969).

Fósforo: El procedimiento colorimétrico de TROUG y MEYER (1929) modificado por CHAPMAN (1931).

Sodio y Potasio: Fotometría de llama (GOLTERMAR, 1969).

Calcio y Magnesio: Espectrofotometría de absorción atómica (GOLTERMAR, 1969).

Cloruros: Titulación con nitrato de plata (RODIER, 1981).

Microelementos; Fe, Mn, Zn y Cu: Se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (LACHICA et al., 1973).

Los resultados analíticos se encuentran en la Tabla 1 (Apendice: Análisis químico de aguas.)

### 3.6.- SUELOS.

No podemos considerar, desde el punto de vista edafológico, que las plantas se desarrollan sobre un suelo agrícola natural, ya que los invernaderos se asientan sobre terrenos que, en la mayoría de las ocasiones, carecen de las características propias de los suelos de este tipo. Por lo que se ha hecho necesario crearlos artificialmente por medio de aportes desde otros lugares.

Un esquema general del trabajo desarrollado en este apartado, queda reflejado en la Fig.4 .

#### 3.6.1.- Toma de muestras.

Puede afirmarse que el éxito o el fracaso del análisis de suelos, depende de si se obtiene o no una muestra que sea verdaderamente representativa, y de las operaciones subsecuentes de manejo. Esto debe realizarse con gran minuciosidad y siguiendo unas reglas normalizadas (CHAPMAN y PRATT, 1979).

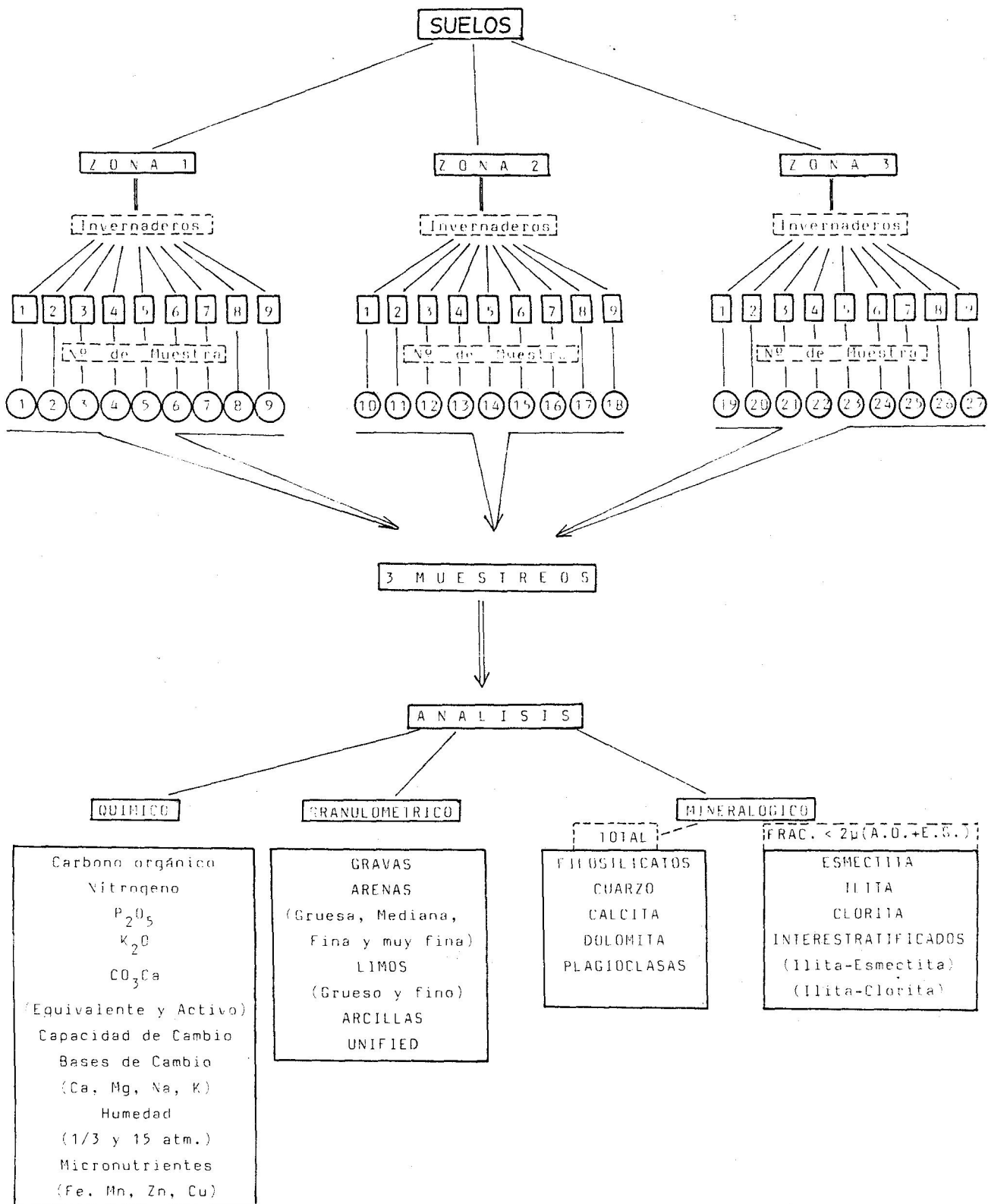


Fig. 4 .- Esquema de trabajo para los suelos

La toma de muestras se realizó despreciando la capa superior de arena y siguiendo el método global por muestreo simple al azar. Se recogieron varias muestras de cada invernadero de la capa de tierra aportada, a una profundidad de 15 a 30 cm, utilizando para ello materiales de madera y de plástico, y después de homogeneizarlas se introdujeron en bolsas de plástico, convenientemente rotuladas para su posterior análisis. Este sistema de muestreo se repitió en tres épocas distintas a lo largo de la experiencia.

### 3.6.2.- Preparación de las muestras.

Las muestras, cuando llegaron al laboratorio, se acondicionaron como fase previa para la realización de los distintos análisis. Este acondicionamiento incluyó la separación de los posibles elementos gruesos, la preparación de las muestras para análisis físico y análisis químicos.

La muestra se desecó al aire hasta que su humedad se equilibró con la ambiental, seguidamente se extendió sobre un tablero, y sirviéndonos de un martillo de goma o un rodillo de madera, se deshicieron los agregados que existían en el suelo. Posteriormente se pasó la muestra por un tamiz de 2 mm de luz, almacenándose la fracción menor de este tamaño.

### 3.6.3.- Análisis de las muestras.

En las determinaciones se siguieron las directrices propuestas en los METODOS OFICIALES DE ANALISIS (1975).

#### 3.6.3.1.- Análisis físico.

Los métodos ordinarios para la determinación de la textura de los suelos requieren que las partículas estén dispersas en una solución acuosa. La agitación del suelo en una solución alcalina diluida de hexametáfosfato sódico es suficiente, en muchos casos, para la dispersión de los agregados del suelo. Para prevenir una mala dispersión de este, se sometió a lavado por diálisis en una membrana semipermeable y corriente de agua.

**Granulométrico:** se realizó para cuatro fracciones: arena gruesa y fina, limo y arcilla siguiendo el procedimiento propuesto por BOUYOUCOS (1951), basado en la ecuación de Stokes, que relaciona el diámetro de las

partículas con el tiempo de caída.

La fracción arena se determinó por una primera tamización en húmedo y posterior separación en subfracciones por una segunda tamización en seco.

La arcilla y el limo se separaron por sedimentación y se siguió el método de la pipeta de ROBINSON.

**Análisis Mineralógico de la composición global:** Se ha efectuado, con las muestras del suelo, un análisis mineralógico de la composición global por difracción de rayos X (BRINDLEY y BROWN, 1980). Este análisis es semicuantitativo ya que sólo tiene en cuenta el material cristalino y no el amorfo (geles). No se eliminó la materia orgánica.

**Análisis Mineralógico de la Fracción inferior a 2  $\mu$ :** Así mismo se llevo a cabo un análisis mineralógico de las fracciones inferiores a 2  $\mu$  por el método de agregado orientado, solvatado con etilen-glicol, (BRINDLEY y BROWN, 1980), eliminando previamente la materia orgánica y los carbonatos.

**La Capacidad de retención de agua** por el suelo se determinó para dos succiones deferentes (1/3 y 15 atm.). La humedad equivalente (pF 1/3) se obtuvo a partir de la muestra tamizada utilizando la técnica de centrifugación, mientras que la medida del punto de marchitez (pF 15), se realizó con el aparato de membrana de Richards sobre muestra tamizada (RICHARDS, 1947).

El tanto por ciento de los distintos minerales de la arcilla presentes en los suelos y los restantes parámetros procedentes del análisis físico, aparecen en la Tabla 2 (Apéndice: Análisis Físico y Químico de los suelos.)

#### **3.6.3.3.- Análisis químico.**

Se determinaron los siguientes parámetros:

**pH:** Se obtuvo midiendo el potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que está en función de la actividad de iones hidrógeno a ambos lados de la membrana, utilizando como referencia un electrodo de calomelanos con puente salino. Se determinó, en primer

lugar, a partir de una mezcla de suelo/agua en la proporción 1:1. Posteriormente se efectuó otra medida con cloruro potásico 0.1 M en la misma proporción (HAYWARD et al., 1973).

**Conductividad Eléctrica (C.E.):** Se realizó sobre extracto saturado, basándonos en los procedimientos de CHAMPBELL et al., (1949) y utilizando un conductivímetro, fundamentado en el puente de Wheatstone, que mide la resistencia eléctrica entre dos electrodos paralelos sumergidos en la solución acuosa (BOWEN y WILCOX, 1965).

**Carbonato Cálcico Equivalente:** Tratando los carbonatos con ácido clorhídrico 1N en un dispositivo cerrado, a presión y temperatura constante, el incremento de volumen, es una medida directa del anhídrido carbónico desprendido cuando no se produzcan otros gases (ALLISON y MOODIE, 1965). Las correcciones de presión y temperatura, se hicieron con ayuda de carbonato cálcico puro por medio del instrumento descrito por BARAHONA.

**Carbonato Cálcico Activo:** Se extrajo el calcio del suelo con oxalato amónico y se valoró el exceso de oxalato con permanganato potásico de concentración conocida, en medio sulfúrico (HESSE, 1971).

**Materia Orgánica:** Se determinó según el método propuesto por BREMNER (1965), basado en la medida espectrofotométrica del cromo originado como consecuencia de la reducción del dicromato potásico, en medio sulfúrico, por la materia orgánica presente en el suelo (DE LA ROSA, 1984).

**Nitrógeno:** Se realizó según el método clásico de KJENDAHL, usando como catalizador una solución sulfúrica de Selenio y como elevador del punto de ebullición sulfato potásico. Destilando posteriormente el mineralizado obtenido y valorando el amonio en un aparato de Bouat Micro Kjedaahl (HILLERBRAND et al., 1953).

**Fósforo:** La determinación de este elemento se realiza por medio de una extracción con ácido acético y acetato amónico (OLSEN y LARSEN, 1979). Después de filtrado el extracto, se valoró una alicuota de éste por el método de CAPITAN y MARTINEZ (1954).

**Potasio:** Se realizó una extracción del elemento con una solución extractora de ácido acético y amoníaco, posteriormente se realizó la lectura espectrofotométrica del filtrado a 775 nm y su interpolación en una curva patrón (PRATT, 1965).

**Cationes de Cambio:** Con la muestra de suelo se procedió al desplazamiento del complejo de cambio mediante acetato amónico 1 N (pH 7) por lixiviación en una columna de percolación. Se procedió posteriormente a la determinación por espectrofotometría de absorción atómica en el caso de Ca y Mg, y por espectrofotometría de llama se determinó Na y K (BOWER et al., 1952).

**La Capacidad de Cambio Catiónico (C.C.C.):** Se determinó partiendo de suelo saturado en amonio y por desplazamiento de este amonio por sodio mediante una solución de acetato sódico 1N (pH 8.2), valorando éste posteriormente por espectrofotometría de llama (RICHARDS, 1954).

**La Saturación en Bases:** Hace referencia a la cantidad total de Ca, Mg, Na y K del complejo de cambio como porcentaje con relación a la capacidad de cambio total.

- **Micronutrientes Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre:** El extractante utilizado fue el propuesto por LINDSAY y NORVELL (1978). La extracción se llevó a cabo en frascos de plástico de 250 ml, manteniendo constantes las condiciones de tiempo de extracción (60 minutos) y relación suelo/extractante (1/10). La extracción se realizó en un agitador vuelta-vuelta, produciéndose posteriormente al filtrado de los extractos. La extracción en cada suelo se realizó por triplicado. Se realizó seguidamente la determinación de los microelementos procedentes de los filtrados, por espectrofotometría de absorción atómica.

Los resultados correspondientes al análisis químico de cada uno de las tres muestras, de cada suelo, se han expresado en la Tabla 3 (Apéndice : Análisis Físico y Químico de los suelos.)



