

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

"ESTUDIO DE LA SITUACIÓN NUTRICIONAL DEL  
PALTO (Persea americana Mill) cv. FUERTE Y  
HASS , EN LA QUINTA REGIÓN DEL PAÍS"

Taller de Titulación como parte  
de los requisitos para optar al  
título de Ingeniero Agrónomo.

YERKO MARCELO MORENO SIMUNOVIC

QUILLOTA - 1988

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
  
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
  - 2.1. Orígenes de la nutrición frutal actual.
    - 2.1.1. Análisis foliar
  - 2.2. Nutrición mineral de los frutales.
  - 2.3. Diagnóstico nutricional del huerto.
    - 2.3.1. Análisis de suelos.
    - 2.3.2. Sintomatología visual de deficiencias o excesos nutricionales.
      - 2.3.2.1. Funciones de los principales elementos minerales y su sintomatología de deficiencia.
        - 2.3.2.1.1. Nitrógeno.
        - 2.3.2.1.2. Fósforo.
        - 2.3.2.1.3. Potasio.
        - 2.3.2.1.4. Magnesio.
        - 2.3.2.1.5. Hierro.
        - 2.3.2.1.6. Manganeseo.
        - 2.3.2.1.7. Zinc.
        - 2.3.2.1.8. Boro.

- 2.3.3 Análisis foliar.
  - 2.3.3.1 Tipo de hoja a muestrear.
  - 2.3.3.2. Cuando muestrear.
  - 2.3.3.3. Obtención de la muestra.
- 2.3.4. Pruebas de terreno y ensayos de campo.
- 3. MATERIAL Y MÉTODO
- 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
  - 4.1. Nitrógeno
  - 4.2. Fósforo
  - 4.3. Potasio
  - 4.4. Estudio de casos
- 5. CONCLUSIONES
- 6. RESUMEN
- 7. LITERATURA CITADA

## ÍNDICE DE CUADROS

- CUADRO 1. Clasificación y forma de los nutrientes encontrados en la solución del suelo.
- CUADRO 2. Kilos de constituyentes minerales extraídos por una cosecha de 100 toneladas de fruta cítrica fresca.
- CUADRO 3. Kilos de constituyentes minerales extraídos por una cosecha de 1 tonelada de fruta de huertos de Durazneros y Manzanos .
- CUADRO 4. Época y tejido a usar para el análisis foliar en diferentes especies frutales.
- CUADRO 5. Valores mínimos y máximos del rango óptimo de diversos elementos en diferentes especies frutales.
- CUADRO 6. Estándar nutricional del Palto (Persea americana Mill).
- CUADRO 7. Variables consideradas en los diferentes modelos de regresión múltiple para el Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte y Hass.
- CUADRO 8. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Nitrógeno en Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

- CUADRO 9. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Nitrógeno en Palto (Persea americana Mill) cv. Hass, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.
- CUADRO 10. Distribución porcentual del número de muestras foliares de fósforo en Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.
- CUADRO 11. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Fósforo en Palto (Persea americana Mill) cv. Hass, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.
- CUADRO 12. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Potasio en Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.
- CUADRO 13. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Potasio en Palto (Persea americana Mill) cv. Hass, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.
- CUADRO 14. Modelos de regresión múltiple obtenidos para Palto (Persea americana Mill) cv. Hass.
- CUADRO 15. Modelos de regresión múltiple obtenidos para Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte.

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis de tejidos en las plantas, como medio para determinar la existencia de elementos minerales en ellas, no es nuevo, hace ya más de un siglo que WEINHOLD citado por WYLIE (1971), expresó este concepto. Ahora bien, es en los últimos 50 años cuando se le ha dedicado mucha mayor atención al desarrollo del análisis de tejido como método para evaluar las necesidades nutricionales de las plantas.

Para este tipo de análisis, es posible utilizar cualquier parte de la planta como hojas, peciolo, raíces, frutos, etc., pero la mayor cantidad de información para el caso de los frutales se ha obtenido en base al uso de hojas (WYLIE, 1971). Lo anterior, aparte de las razones prácticas de recolección y manejo posterior de la muestra, se debe a que la hoja es uno de los órganos más dinámicos de la planta, en la cual los elementos minerales cumplen sus funciones primarias en conjunto con la asimilación del Carbono y otros procesos metabólicos, siendo además en ellas, en donde primero se manifiestan las deficiencias nutricionales.

El concepto de diagnóstico nutricional mediante el análisis foliar, se basa en la premisa que al estar todos los factores que afectan al desarrollo de la planta, en condiciones óptimas, el crecimiento y producción de esta, se relaciona directamente con el contenido de nutrientes en las hojas (WYLIE, 1971).

Este diagnóstico permite formular las normas de fertilización del huerto frutal y hacer los ajustes pertinentes en la medida que el estado nutricional se controle periódicamente. La interpretación de los resultados del análisis foliar es quizás la parte más compleja, puesto que es necesario considerar todos los factores que puedan afectar de alguna u otra manera la composición nutricional de las hojas y evaluar su efecto sobre la nutrición del árbol.

El productor, al realizar análisis foliares en su huerto, persigue controlar la nutrición de éste y corregir las posibles deficiencias que se presenten. Sin embargo, el análisis de la información acumulada en los Laboratorios de Servicio, permite determinar el estado nutricional que presenta una especie o un grupo de ellas en una zona, y a la

vez detectar los problemas nutricionales que pudiesen presentarse, a fin de estudiar y experimentar sus posibles soluciones.

Por esta razón los objetivos de este estudio preliminar, fueron obtener una apreciación del estado nutricional del Palto (Persea americana Mill) en la Quinta región del país, para los dos cultivares más importantes (Fuerte y Hass) y establecer la influencia de los niveles foliares de Nitógeno, Fósforo y potasio sobre la variabilidad de la producción de dicha especie.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Orígenes de la nutrición frutal actual

La mayor parte de los huertos frutales, tanto de hoja caduca como de hoja persistente, crecen y producen durante 15 a 50 años en promedio. Durante ese tiempo, los árboles desarrollan un amplio sistema radicular que es capaz, la mayoría de las veces, de extraer en forma eficiente, los nutrientes que el suelo le proporciona; pese a lo anterior, generalmente se hace necesaria la aplicación suplementaria de uno o más nutrientes, que en algún momento se hagan deficitarios para el normal desarrollo de la planta. De lo anterior, se desprenden algunas preguntas importantes cuando se hace necesario fertilizar un huerto frutal.

- ¿Qué elementos aplicar?
- ¿Cuánto aplicar de ellos?
- ¿Cómo aplicarlos?
- ¿Cuándo aplicarlos?

En este sentido, la Nutrición Frutal, durante los pasados 85 años ha tratado de dar respuesta a estas interrogantes y a la vez ha evolucionado desde un método muy sencillo (que consistía en restituir al suelo los nutrientes usados por el árbol), hasta una intrincada ciencia que requiere de un acabado entendimiento de la fisiología del árbol y que a la vez está íntimamente relacionada e integrada a las "prácticas de manejo" de cada huerto.

A principios de siglo, la nutrición frutal, giraba en torno a lo que se llamó la "Teoría de Liebig". Los investigadores interesados en suplementar los requerimientos nutricionales de los huertos frutales, se dedicaban a determinar la cantidad de nutrientes que cada especie extraía desde el suelo (FAUST, 1979). De acuerdo con la teoría de Liebig, enunciada en 1840, el problema era sencillo de solucionar, realizando un número tal de análisis de tejido que permitieran determinar el contenido de los elementos minerales que lo conformaban. De este modo, bastaba sólo, devolver al suelo (en forma de guano o fertilizantes), aquellos elementos que en mayor cantidad había extraído el árbol.

El reemplazar los minerales extraídos desde el suelo, no dio resultados positivos y los fertilizantes comerciales no fueron capaces de aumentar en forma consistente la producción.

GOULD (1915), citado por FAUST (1979), recomendaba experimentos locales a los productores de Duraznos, sugiriendo el aportar al suelo sólo aquellos " nutrientes limitantes" para el cultivo, entendiendo por tales al Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

A pesar de lo anterior, el problema aún persistía puesto que no había forma de transmitir la experiencia de una condición a otra, por lo que se hacía necesario determinar los requerimientos nutricionales a través de múltiples experimentos en las distintas zonas de cultivo de cada especie .

En esa época la investigación era, más que nada, empírica y los resultados medidos por los aumentos en producción. Así por ejemplo, la necesidad de fertilizantes químicos para los frutales no había sido bien establecida aún

y existían diferencias en cuanto a los beneficios de aportar o no fertilizantes que contuviesen Fósforo y Potasio.

#### 2.1.1. Análisis Foliar

Mientras la investigación en nutrición frutal se basó por años en la teoría de Liebig, paralelamente fueron desarrollándose nuevas ideas a este respecto. Es así como HALL (1905), citado por FAUST (1979), propone el análisis de tejido, no como método para determinar la cantidad total de nutrientes extraída del suelo, sino como un "Método Biológico" de apoyo a la Fertilidad de Suelos; en este sentido, BOULD (1966) menciona que HALL fue ignorado por largo tiempo y que solo en 1926, LAGATU y MAUME adoptaron estas ideas y propusieron lo que ellos llamaron "Diagnóstico Foliar", herramienta que sólo 10 años después, BATJER y MAGNESS utilizaron para determinar los contenidos de Potasio foliar en huertos de Manzanos.

De este modo el análisis foliar se transformó en una herramienta que proporcionó una base de comparación entre

las diferentes experiencias locales propuestas por GOULD en 1915 y finalmente también pudo explicarse la controversia originada en torno a la necesidad de Potasio de los huertos frutales debido a que se determinó que el crecimiento de los brotes era normal en aquellos árboles que tenían más de 1% de Potasio foliar (base peso seco) y que dicho crecimiento podía aumentarse cuando la concentración de Potasio sobrepasaba el 1,7 %. Esto explicó el porqué al aplicar fertilizantes potásicos en la misma cantidad, se lograba efectos sólo en algunos suelos ya que se vio que los resultados dependían de los niveles de Potasio del suelo y de los contenidos foliares de este elemento para cada huerto en particular.

A medida que el conocimiento en nutrición frutal ha aumentado y el uso del análisis foliar se ha hecho más extensivo, la interpretación de los resultados de éste, se ha hecho más compleja. El principio original basado en la " Ley del Mínimo" (Teoría de Liebig), fue cambiado a la ley de los "Rendimientos Decrecientes", elaborada por MITSCCKERLING citado por SMITH (1966). Posteriormente MACY (1938), citado por BOULD (1966), introdujo el concepto de "Porcentaje Crítico de Nutrientes" en base al peso seco de las hojas.

Dicho porcentaje crítico fue pensado como ideal, sujeto sin embargo, a leves variaciones dependientes de los factores de crecimiento, pero esencialmente se le consideraba como un valor fijo y característico para una planta dada y por sobre una edad preestablecida.

Si bien es cierto, algunos autores describieron las bases fisiológicas del análisis foliar como dependientes de dos procesos: (a) La absorción y distribución de los minerales por las plantas y (b) una relación cuantitativa entre los nutrientes absorbidos y el crecimiento; esta explicación parece ser simple pero se han encontrado una serie de diferentes respuestas que pueden apreciarse en la Figura 1.

En ella se visualiza una zona "a" que muestra la posibilidad de una disminución de la concentración foliar de un elemento deficiente, luego de una aplicación de éste, al producirse un efecto en el crecimiento. Esta dilución, corresponde al llamado "Efecto Steenbjerg". Luego se aprecia una zona "b" en que se produce una gran variación en el crecimiento frente a un pequeño o casi nulo cambio en la

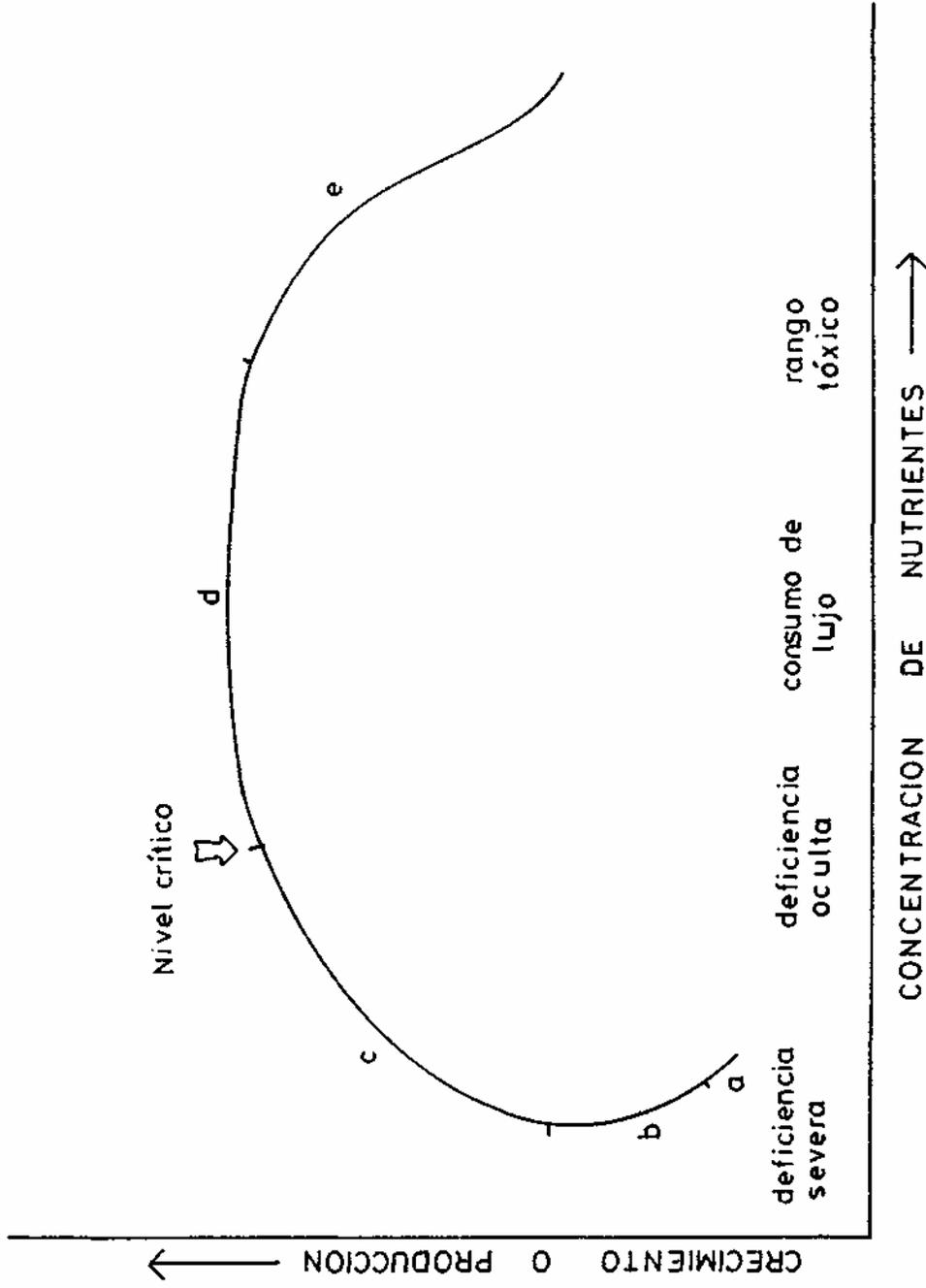


Figura 1. Relacion entre la concentracion foliar de nutrientes y el crecimiento vegetal (SMITH, 1966).

concentración del nutriente. En la zona "c" ocurre un incremento simultáneo del crecimiento y de la concentración foliar hasta que se alcanza el "Nivel crítico". Si bien es cierto, en este punto la curva se hace asintótica, la designación de él ocurre cuando un aumento en la concentración produce un aumento muy pequeño en el crecimiento o producción. Por otra parte, este nivel crítico no es fijo y generalmente se le considera como un sector de la curva también llamado "Rango Óptimo". La zona "d" o de "Rendimientos Decrecientes", muestra un segmento en que el cambio en la producción es casi nulo o insignificante en términos económicos y físicos versus un aumento del nivel foliar del elemento, conociéndose también esta zona como "Consumo de Lujo". Finalmente el sector "e", representa una área de la curva en que el crecimiento se ve afectado por un efecto de toxicidad.

La teoría antes descrita, fue ampliamente usada y en ella se basa parte importante del conocimiento actual sobre nutrición frutal. De acuerdo a lo anterior, y en forma posterior a su divulgación, se han realizado múltiples trabajos tendientes a confeccionar listados con la información

antes descrita, para cada elemento y especie (KENWORTHY y MARTIN, 1966; SHANNON, 1966).

Posteriormente, SHEAR et. al. (1946), citados por SHEAR y FAUST (1970), introducen el concepto de "Equilibrio Nutricional", estableciendo que el crecimiento vegetal es función de dos variables nutricionales, cantidad total de nutrientes y equilibrio de éstos y que ellas se reflejan en la composición de las hojas cuando las plantas tienen el mismo grado de crecimiento y desarrollo.

De este modo el máximo crecimiento y producción de un vegetal, ocurren con la convergencia de una óptima cantidad de un elemento versus una adecuada proporción de los restantes. De este modo, cuando la concentración de un elemento se hace diferente al óptimo, para volver a alcanzar el crecimiento máximo, dentro de límites menores por supuesto, es necesario que los otros elementos alcancen un nuevo equilibrio.

Este concepto sumó una nueva dimensión a las anteriores teorías, ya que éstas sólo consideraban la

cantidad de cada elemento (como porcentaje crítico) pero no en conjunto con el resto de los nutrientes.

La necesidad de considerar el equilibrio nutricional como una herramienta importante en la nutrición frutal, llegó a hacerse clave sólo cerca de 20 a 25 años después, cuando se determinó que la calidad de la fruta era muy dependiente de la proporción relativa de los nutrientes presentes en el árbol (FAUST, 1979).

A través de los pasados 50 años, desde que BAJTER y MAGNESS, citados por BOULD (1966), utilizaron el análisis foliar, se han determinado detalles importantes que permiten hacer su uso más confiable: mejor época del año para cada especie, en que se debe tomar la muestra; tejidos que representan mejor cada situación en particular y por último, factores ambientales que influyen en la concentración foliar de nutrientes en cada especie (BOULD, 1966; SMITH, 1966) .

## 2.2. Nutrición mineral de los frutales

La mayor parte del peso de los vegetales corresponde a compuestos formados por Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, elementos que son obtenidos directamente desde la atmósfera y el agua. A parte de estos tres elementos, se ha determinado, mediante el uso de análisis químico de tejidos, que cerca de 60 elementos pueden encontrarse constituyendo los vegetales superiores.

Estos elementos son extraídos desde el suelo y es necesario considerarlos, tanto en lo que se refiere a su importancia para la planta, como a la cantidad y forma en que esta los necesita y obtiene (WYLIE, 1971).

De acuerdo al desarrollo, fisiología y necesidades propias de cada vegetal, es que las plantas seleccionan la naturaleza y la cantidad de los elementos que ocupan.

En este sentido, y pese a la gran cantidad de elementos constituyentes de los vegetales, sólo algunos de

ellos son llamados "escenciales", correspondiendo estos a aquellos sin los cuales la planta no puede cumplir su ciclo normal de desarrollo, crecimiento y producción (SACHS y KNOP, 1860), citados por (DEVLIN, 1982).

En base a lo anterior, actualmente se pueden reconocer 16 elementos escenciales, los cuales se clasifican de diferentes formas, siendo la más usual su separación entre "macro" y "microelementos" (Cuadro 1) que aunque son igualmente escenciales para la productividad del vegetal, difieren en las cantidades en que este los necesita (WEINBAUM, 1978).

Si bien es cierto, los árboles frutales son similares a otros vegetales en cuanto a sus requerimientos nutricionales, es necesario realizar algunas consideraciones importantes por las cuales las aplicaciones de fertilizantes en ellos, difieren, por ejemplo, de las realizadas en los cultivos anuales.

En primer término, existen claras diferencias en cuanto al sistema radicular de ambos, puesto que el de un

CUADRO 1. Clasificación y Forma de los nutrientes encontrados en la solución del Suelo.\*

TIPO DE NUTRIENTE	ELEMENTO	FORMA CATIONICA	SIMBOLO	FORMA ANIONICA	SIMBOLO	
M A C R O N U T R I E N T E S	Nitrógeno	Amonio	+	Nitrato	-	
			NH <sub>4</sub>		NO <sub>3</sub>	
	Fósforo				Nitrito	NO <sub>2</sub>
						HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
						H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	Potasio	Ión Potasio	K			
	Calcio	Ión Calcio	Ca			
Magnesio	Ión Magnesio	Mg				
Azufre				Sulfato	SO <sub>4</sub>	
M I C R O N U T R I E N T E S	Hierro	Ión Ferroso	++			
			Fe			
	Ión Férrico	+++				
		Fe				
	Manganeso	Ión Manganeso	++			
			Mn			
	Zinc	Ión Zinc	++			
			Zn			
	Cobre	Ión Cúprico	++			
			Cu			
Boro				Borato	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
				Acido bórico Neutro	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -	
Molibdeno				Molibdato	MoO <sub>4</sub>	
Cloro				Clorato	Cl <sup>-</sup>	

\* Adaptado de CARLSON, (1978).

cultivo anual es superficial y en la mayoría de los casos, explora un volumen muy bajo de suelo, debido a lo cual es posible colocar casi en contacto el fertilizante con las raíces de éste. En el caso de los árboles frutales, el volumen de suelo explorado es mucho mayor, siendo por ejemplo, para un Naranja con un arraigamiento de 0,8 a 1,0 m de profundidad, de aproximadamente 30 - 40 m de suelo ( GARDIAZABAL Y ROSENBERG, 1987) .

Un segundo punto importante es el que se refiere al carácter perenne del frutal, lo que en términos prácticos se traduce en que éste puede absorber nutrientes durante casi todo el año, aunque a un ritmo distinto dependiendo de la estación en que se encuentre. Por su parte, los cultivos anuales lo hacen en un periodo relativamente corto de tiempo, si se piensa que por ejemplo, un híbrido de Maíz puede cosecharse desde 105 a 175 días luego de sembrado. Lo anterior se traduce en un mayor ritmo de fertilización para este último caso, a diferencia del frutal, pensando además en el hecho de que una deficiencia nutricional se vería reflejada directamente en los rendimientos (PIONEER, 1986).

Por último, los frutales, a diferencia de los cultivos anuales, tienen la capacidad de almacenar nutrientes minerales junto a los no-minerales en la corteza y otros tejidos lignificados, pudiendo estas reservas, ser utilizadas para suplir las necesidades que existan durante periodos muy intensos de consumo (WYLIE, 1971). El árbol crece más lento, acumula reservas de un año para otro, trasloca nutrientes y en general los cambios que sufre no son tan rápidos como en los cultivos anuales, pudiendo transcurrir varios años antes de que existan daños visibles en la producción o en la calidad de la fruta, por falta de algún nutriente (GARDIAZABAL Y ROSENBERG, 1987).

### 2.3. Diagnóstico nutricional del huerto

Si bien es cierto, al observar los Cuadros 2 y 3, se puede tener una idea acerca de la cantidad de elementos retirados por las distintas especies frutales desde el suelo, esta información no es suficiente por si sola para acercarnos a un diagnóstico preciso sobre la situación nutricional de cada huerto en particular.

Para lograr este propósito, existen diferentes herramientas que en conjunto permiten lograr una aproximación bastante cercana a la situación nutricional real de un huerto, entre las cuales es posible considerar:

- a. Análisis de Suelo
- b. Sintomatología Visual de Deficiencias o Excesos
- c. Análisis Foliar
- d. Pruebas de Terreno o Ensayos de Campo

CUADRO 2. Kilos de constituyentes minerales extraídos por una cosecha de 100 toneladas de fruta cítrica fresca.\*

Nutriente	Kilos	Nutriente	Kilos
Nitrógeno	23,6	Hierro	0,056
Fósforo	5,3	Cobre	0,0058
Potasio	51,1	Zinc	0,013
Calcio	20,9	Flúor	0,016
Magnesio	3,8	Aluminio	0,032
Azufre	2,6	Boro	0,052
		Sílice	0,56

\* Adaptado de GARDIAZABAL y ROSENBERG, (1987).

CUADRO 3. kilos de constituyentes minerales extraídos por una cosecha de 1 tonelada de fruta de huertos de Durazneros y Manzanos.\*

---

Nutriente	Durazneros Kilos	Manzanos Kilos
Nitrógeno	1,71	0,41
Potasio	2,64	1,14
Fósforo	0,26	0,13
Calcio	0,08	0,09
Magnesio	0,07	0,04

---

\* Adaptado de WYLIE, (1971).

### 2.3.1. Análisis de suelo

Aunque en un principio fue muy utilizado, como único medio para determinar las necesidades nutricionales de los frutales, el análisis de suelo, es una alternativa que sólo ha dado resultados positivos en los cultivos anuales, debido a las diferencias existentes entre estos dos.

Esta técnica podría ser un método fácil y simple de aplicar si se pudiese obtener una muestra representativa del suelo en que están creciendo las raíces de los árboles, situación, que por el hábito de crecimiento radicular de éstos es muy difícil de lograr.

Una segunda dificultad que se presenta es que el contenido total de un elemento en el suelo, en general, tiene poca relación con la cantidad de éste que el árbol aprovecha y hasta la fecha no se han establecido técnicas de laboratorio que permitan extraer del suelo las mismas cantidades que extrae la planta. El análisis de suelo, no indica por consiguiente, ni la cantidad ni naturaleza de los elementos que la planta está obteniendo desde el suelo (WYLIE, 1971).

Por otra parte, es muy difícil diagnosticar deficiencias de elementos en base a los resultados de análisis de suelo, puesto que no existen estándares confiables para los frutales, siendo por lo demás muy difíciles de obtener por la gran variabilidad que presenta el suelo incluso dentro de un mismo huerto (URIU, 1978).

Sin embargo y pese a lo anterior, este procedimiento constituye una herramienta muy útil en el diagnóstico de toxicidades causadas por cantidades excesivas de algunos elementos como es el caso de Sodio, Cloro y Boro, siendo también útil para localizar el sector en donde ocurren dichos excesos. El conocer la ubicación de un mineral tóxico, ayudará a decidir el tratamiento correctivo a utilizar y como aplicarlo (URIU, 1978).

Otra utilidad práctica, para el caso de los frutales, consiste en la información que este análisis proporciona acerca del pH del suelo, debido a que la disponibilidad de los diferentes nutrientes va a estar directamente relacionada con los valores que este parámetro presente en cada suelo (TROCHE y GRASS, 1964).

Como se puede apreciar en la Figura 2, si el pH del suelo es muy ácido, existen una serie de elementos que las plantas no podrán obtener con facilidad, haciéndose cada vez más difícil su extracción al hacerse más ácido el suelo. En este caso se puede mencionar al Nitrógeno, Fósforo, Magnesio, Cobre, Zinc y en forma especial el Molibdeno. Por el contrario, algunos de estos mismos elementos disminuyen su facilidad para encontrarse al alcance de la planta cuando el pH se hace muy alcalino (8,5 - 9,0). Por ejemplo el Hierro, Manganeso, Cobre, Boro y Zinc, ya presentan dificultades para ser extraídos con un pH ligeramente alcalino o neutro (GARDIAZABAL Y ROSENBERG, 1987).

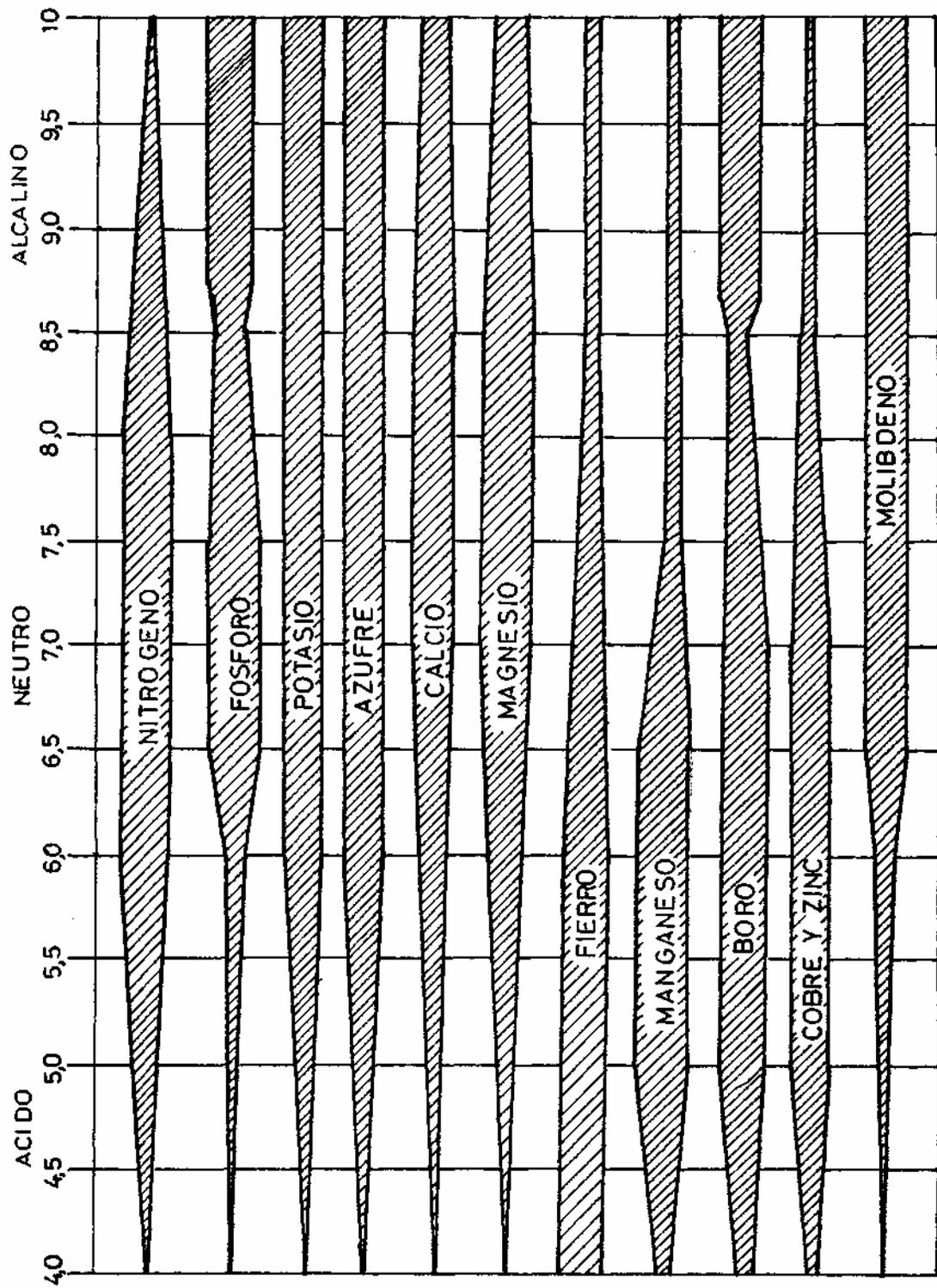


Figura 2 . Disponibilidad de los diferentes nutrientes en relación al pH del suelo (ARAOS , 1977 ).

### 2.3.2. Sintomatología visual de deficiencias o excesos nutricionales.

En el complejo proceso de crecimiento, desarrollo y fructificación de las plantas, intervienen múltiples reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos en los cuales participan en una o más etapas los elementos minerales esenciales y en donde su deficiencia se traduce en el no cumplimiento de ellos, como lo mencionan SACHS y KNOP citados por (DEVLIN, 1982).

La mayoría de las veces, lo anterior se ve manifestado externamente de una manera poco específica, pero existen algunos casos en que la expresión de una deficiencia se hace en forma clara y particular para un elemento en especial. En dichos casos existe la posibilidad de usar esta evidencia para determinar si el suministro de ese elemento es adecuado o no (WYLIE, 1971).

De acuerdo a lo anterior y para poder usar esta sintomatología visual, como una herramienta de diagnóstico

nutricional, es que es de suma importancia conocer el comportamiento general de cada elemento dentro de la planta, además de entender las funciones que cumple, puesto que de ese modo se podrá tener una idea aproximada acerca de la forma o la parte del vegetal en donde primero se manifestará dicha sintomatología. Es así por ejemplo, que se ha establecido, que la movilidad de ciertos elementos dentro de la planta es distinta, existiendo elementos móviles y otros prácticamente inmóviles o con muy poca movilidad (GAUCH, 1973). Dentro de los primeros, es posible encontrar al Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio, en el segundo caso se encuentran el Boro, Calcio, Hierro y Manganeso.

Para los elementos móviles, las deficiencias se manifestarán primero en las hojas de mayor edad, ya que al faltar uno de ellos, el vegetal lo moviliza desde aquellas partes en que ya lo ha absorbido, hacia los tejidos y hojas jóvenes. Por el contrario, en el caso de los elementos inmóviles, no se produce dicha traslocación por lo que los síntomas se manifiestan en tejidos jóvenes (TROCME y GRASS, 1964).

Si bien es cierto la sintomatología visual es similar en todas las especies, en el caso de algunos elementos existen variaciones importantes entre una especie y otra, por lo cual su utilización, como método de diagnóstico, debe estar precedida por un conocimiento cuidadoso de cada situación en particular. En el caso de las especies frutales, sin embargo, la deficiencia de la mayoría de los elementos produce síntomas bien característicos, lo que facilita su reconocimiento (TROCHE y GRASS, 1964).

Otra posibilidad importante de esta técnica, es la de permitir diagnosticar excesos o toxicidades de ciertos elementos, siendo estos generalmente micronutrientes o sales de Cloro y Sodio, los que al igual que en los casos de deficiencia, manifestarán síntomas visuales claros; y fáciles de reconocer en una primera aproximación.

Pese a lo anterior, el análisis de la sintomatología visual de deficiencias nutricionales, presenta algunas desventajas que deben conocerse a fin de no cometer errores en su utilización.

La primera limitación que presenta es que cuando ha ocurrido la manifestación de los síntomas de deficiencia, se ha alcanzado una situación de carencia tal en el vegetal, que se han producido grandes mermas en la producción, de acuerdo a lo expresado en la Figura 1. Por el contrario, puede ocurrir que existan bajas en la producción aún sin existir una manifestación externa de la deficiencia, encontrándose en ese caso en una situación de "Hambre Oculta", en la cual, lógicamente el análisis de la sintomatología visual no será de gran utilidad sino que por el contrario puede inducir a grandes errores.

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, el sólo análisis visual de un huerto puede que no indique si algún elemento se encuentra en un nivel innecesariamente alto, lo que implicará un mayor consumo de fertilizantes, aumentando los costos de producción.

Una segunda dificultad de esta técnica de diagnóstico, es el hecho de que a pesar de existir una sintomatología visual de deficiencia de algún elemento, esto no significa que el nivel de éste en el suelo sea bajo, puesto que

pueden existir condiciones ajenas a este hecho, que hagan que la absorción de un elemento o su utilización y movilidad dentro de la planta no sean las óptimas. Dentro de estas condicionantes, se encuentran por ejemplo, los excesos de humedad, situaciones extremas de pH, daños radiculares o vasculares por enfermedades, etc.

Un último reparo posible de hacer a este procedimiento, es que, a pesar de que la deficiencia de cada elemento se manifiesta en forma característica, existen diversos sintonías que son comunes a las deficiencias de varios elementos. De este modo, la carencia de clorofila o la disminución de ésta, que produce clorosis en las hojas, puede ser causada por diversos motivos y si bien, cada uno muestra algunas particularidades, que en condiciones ideales permitirían identificarla, en la práctica no es siempre posible tener una seguridad absoluta de la causa del problema. Esta situación, se complica aún más con el hecho de que en algunos casos, la sintomatología de la deficiencia observada es causada por la acción simultánea de dos o más elementos que por si solos serían fáciles de reconocer (GAUCH, 1973).

Para un diagnóstico exitoso basado en la observación de la sintomatología foliar, es necesario continuarla durante la estación de crecimiento, puesto que dependiendo del elemento que se trate, una deficiencia puede manifestarse temprano en la estación de crecimiento mientras que otra puede hacerlo solamente tarde en la temporada (URIU, 1987).\*

Pese a las dificultades anteriormente expuestas, el reconocimiento de la sintomatología visual de deficiencias, puede ser una herramienta muy útil para una persona con experiencia y que conozca en forma clara la manifestación de los síntomas, siempre que dicho reconocimiento sea acompañado por análisis de suelo y foliar. En muchos casos, estas tres herramientas son necesarias para llegar a una aproximación exitosa de un problema particularmente difícil (URIU, 1987)\*.

2.3.2.1. Funciones de los principales elementos minerales y su sintomatología de deficiencia.

---

\* URIU, K. 1987. Profesor Universidad de California, Davis. Comunicación personal.

#### 2.3.2.1.1. Nitrógeno.

El nitrógeno es quizás uno de los elementos más importantes en el metabolismo de los vegetales. Es así como participa en múltiples funciones vitales, siendo la más importante de ellas el formar parte de las proteínas. Por otra parte, se encuentra también en las pirimidinas, purinas, porfirinas y coenzimas (LEHNINGER, 1983).

Las purinas y las pirimidinas forman parte de los ácidos nucleicos DNA y RNA, los que son esenciales para el desarrollo de las proteínas y base de la información genética de la célula. El anillo de porfirina se encuentra en compuestos importantes desde el punto de vista metabólico, como la clorofila y las enzimas del grupo de los citocromos esenciales para la fotosíntesis y la respiración celular.

Aunque según GARDIAZABAL y ROSENBERG (1987), los síntomas de deficiencia de este elemento no son tan claros como los de Zinc, Potasio o Hierro, como norma general, el síntoma de deficiencia más fácilmente apreciable es la clorosis de las hojas, debido a la disminución del contenido de

clorofila de éstas. Como este elemento es móvil dentro de la planta, los síntomas comienzan a notarse primero en las hojas más maduras y luego en las hojas superiores sometidas a un crecimiento más activo. En condiciones ya más agudas de deficiencia, estas hojas se tornan amarillas, se secan y caen. Esta pérdida de color y defoliación se produce temprano en la temporada (LA RUÉ y GERDTS, 1983).

Por otra parte, los árboles presentan un crecimiento vegetativo terminal menor que lo normal, con brotes delgados, débiles y hojas más pequeñas.

Una interesante característica de la deficiencia de Nitrógeno que presentan muchas plantas, es la producción de pigmentos distintos a la clorofila, encontrándose tonalidades naranja a rojizas como en el caso de los tomates, debido a la formación de antocianinas (DAVIES, GIOVANELLI y REES, 1969). También es característica la presencia de frutos más pequeños y coloreados que lo normal (WYLIE, 1971).

#### 2.3.1.2. Fósforo

SI fósforo que se encuentra en las plantas forma

parte de los ácidos nucleicos, fosfoípidos, los coenzimos NAD y NADP y lo que es especialmente importante como parte integrante del ATP (GAUCH, 1973). Encontrándose además formando parte de múltiples compuestos que se consideran menos importantes.

Según HEWITT (1963), en los tejidos meristemáticos de las plantas se encuentran grandes concentraciones de Fósforo, interviniendo éste en la síntesis de nucleoproteínas y actuando, a través del ATP en la activación de los aminoácidos que formarán la parte proteica de estos compuestos. A parte de lo anterior, al formar parte de los fosfolípidos, es un importante constituyente de las membranas celulares (LEHNINGER, 1983).

Mención a parte, merecen los coenzimos NAD y NADP que juegan un importante papel en las reacciones de oxido-reducción en las cuales tienen lugar transferencias de hidrógeno, siendo fundamentales para procesos metabólicos tan importantes como la fotosíntesis, glucólisis, respiración y síntesis de ácidos grasos, entre otros.

La deficiencia de este elemento en árboles frutales se ha encontrado en muy pocas oportunidades, ya que aparentemente, éstos, a diferencia de los cultivos anuales, son capaces de satisfacer sus necesidades, aún en muchos casos en que los análisis de suelo han indicado un bajo contenido de fósforo aprovechable (EMBLETON, 1966; SMITH, 1966; LA RUÉ y GERDTS 1983; GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1987). Sin embargo y de acuerdo a lo expresado por WYLIE (1971), en aquellos casos en que se ha encontrado, esta deficiencia se manifiesta con un color bronceado rojizo del follaje, ocurriendo también poco crecimiento aéreo y radicular principalmente. Los brotes son cortos, delgados y débiles, las hojas son más pequeñas y existen muy pocos crecimientos laterales debido a que las yemas parecen dormidas o mueren (CHILDERS, 1966).

#### 2.3.2.1.3. Potasio.

A pesar de que una deficiencia de Potasio puede afectar procesos tan diversos como la respiración, fotosíntesis, aparición de la clorofila y contenido de agua en las

hojas, su función específica no está tan clara aún (CHILDERS, 1966; LEHNINGER, 1983).

A pesar de que este elemento no forma parte de ninguna de las sustancias importantes de la planta como proteínas, grasas, carbohidratos o clorofila, está presente en diversas partes de ella y en relativamente altas concentraciones en los centros de crecimiento del vegetal (CHILDERS, 1966). Pensando en lo anterior es que se ha visto que el Potasio es esencial como activador de ciertas enzimas que intervienen en la síntesis de algunas uniones peptídicas y que la acumulación de los glúcidos observada durante las primeras fases de su deficiencia, puede ser debida a la alteración en la síntesis de las proteínas (ULRICH y OHKI, 1966) .

GAUCH (1973), citando a MEIDNER y MANSFIELD, indica que el Potasio es el elemento que en base a variaciones de su concentración, permite la regulación de la apertura estomática, a través de una "Bomba de Potasio" que es regulada por la producción de ATP dentro de la célula y la temperatura del medio, dentro de otros factores. Así mismo,

la acumulación de Potasio en las raíces de las plantas, produce un gradiente de presión osmótica que permite el ingreso de agua al interior de éstas. De acuerdo a lo anterior, plantas deficientes en Potasio, presentan menor capacidad para absorber agua y están más sujetas a stress hídricos cuando el suministro de ésta es bajo.

En cuanto a su intervención en la fotosíntesis, PPI\* (1987), menciona que el Potasio, además de jugar un rol importante en la activación emzimática, es responsable de mantener el balance de cargas eléctricas en el proceso de producción de ATP.

Dentro de otras funciones importantes que cumple este elemento, es posible citar al transporte de azúcares dentro del vegetal, por medio de afectar la disponibilidad de ATP; el transporte de agua y nutrientes a través del xilema, siendo posible destacar la traslocación de nitratos, fosfatos, Calcio, Magnesio y aminoácidos (ULRICH y OHKI, 1966).

HUMBER, (1969), cita además que el Potasio

---

\* PPI: Potash & Phosphate Institute

aumenta la productividad de los cultivos a través de incrementar el crecimiento radicular, disminuir la respiración y evitar las pérdidas de energía, ayudar a la traslocación de almidón y azúcares, permitir retardar el efecto de las enfermedades, y por último ayudar en forma importante a mejorar la calidad de los frutos.

El síntoma más característico de su deficiencia es la presencia de un moteado de manchas cloróticas el que es seguido por el desarrollo de zonas de necrosis en la punta y los bordes de las hojas (URIU, 1978).

En algunas especies como Duraznero y Ciruelo, se presenta además, una clorosis entre las nervaduras sanas de las hojas. Así mismo, en muchos casos, el ápice de la hoja tiene la tendencia a curvarse hacia abajo (CHILDERS, 1966).

Para el caso de los Cítricos, GARDIAZABAL y ROSENBERG (1987), mencionan que esta deficiencia no es tan fácil de detectar pero que la fruta producida es de menor tamaño, de cascara delgada, poco acida y de color intenso.

WYLIE (1971), menciona además, que en casos de deficiencia extrema, se produce un menor crecimiento vegetativo y menor foliación.

#### 2.3.2.1.4. Magnesio.

El Magnesio participa en forma importante en dos funciones esenciales de las plantas como son, la fotosíntesis y el metabolismo de los glúcidos. En la primera de ellas forma parte de la molécula de clorofila sin la cual este proceso no podría realizarse.

En el segundo caso, muchas de las enzimas que intervienen en el metabolismo de los glúcidos necesitan al Magnesio como activador. Además este elemento actúa como activador para las enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos DNA y RNA a partir de nucleotidos polifosfatados. Juega también un papel importante en la síntesis de proteínas al activar algunos de los sistemas enzimáticos que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos y al servir como agente de unión entre los microsomas en donde se realiza la síntesis de proteínas (RUSSELL, 1961).

Debido a que el Magnesio es un constituyente de la molécula de clorofila, el síntoma más común de su deficiencia en las plantas, corresponde a una clorosis en las hojas, la que comienza en el borde de la lámina y avanza hacia el interior, entre las nervaduras, rodeando la vena central y a veces las secundarias, manteniéndose sectores verdes bien delimitados los cuales se ensanchan hacia su base. En casos severos, pueden aparecer zonas necrosadas entre las nervaduras o en los márgenes de las hojas, pudiendo ocurrir defoliación prematura (RAZETO, 1985).

Otra característica importante de dicha sintomatología de deficiencia, es que la zona que permanece verde en la hoja, toma la forma de V invertida en la base y en el ápice de ella, siendo especialmente claro en el caso de los cítricos (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1987).

La clorosis, se hace visible en primer lugar en las hojas basales, propagándose luego a las hojas más jóvenes a medida que la deficiencia se va haciendo más aguda. Esto se debe a que el Magnesio presenta una gran movilidad en la planta, por lo que frente a una insuficiente disponibilidad,

este elemento migra desde las hojas adultas hacia aquellas en formación (DAVIS, GIOVANELLI y REES, 1969).

URIU (1978), indica que los síntomas se encuentran asociados a suelos con pH ácido o suelos arenosos y que aparecen desde mediados a fines de verano, luego de un considerable crecimiento de los brotes.

#### 2.3.2.1.5. Hierro.

Aunque el hierro es absorbido en su estado férrico ( $\text{Fe}^{+++}$ ), se acepta de modo general que la forma ferrosa ( $\text{Fe}^{++}$ ) es la metabólicamente activa en la planta (BUCKMAN y BRADY, 1966).

Este elemento muestra un buen número de funciones importantes en el metabolismo general de la planta. Aunque demuestra ser esencial para la síntesis de la clorofila, su papel químico, tanto en la síntesis como en la degradación de esta es incierto (GAUCH, 1973).

Varios autores comparten la opinión de que el hierro interviene en la síntesis de las proteínas del cloroplasto y puede, de este modo, modificar las estructuras responsables de la síntesis de la clorofila (LEHNINGER, 1983) .

Este elemento ha sido identificado también como componente de diversas flavoproteínas (metaloflavoproteínas) que intervienen en las oxidaciones biológicas, encontrándose además en las proteínas ferroporfirínicas como los citocromos, las peroxidasas y las catalasas (LEHNINGER, 1983).

La deficiencia de hierro, comunmente conocida como "Clorosis Férrica" ó "Clorosis Inducida por Cal", es bastante común en frutales y no así en los cultivos anuales.

Esta deficiencia, como su nombre lo indica, generalmente se asocia con excesos de carbonates pero también puede ser causada por excesos de metales como Zinc y Cromo (CHILDERS, 1966); excesos de sales solubles en el suelo ó falta de Hierro en la roca madre (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1987) y suelos pobremente drenados, lo que impide la absorción del Hierro por las raíces (URIU, 1978).

En la mayoría de los casos, las hojas afectadas por esta deficiencia se tornan amarillas, entre las venas, las cuales permanecen siempre verdeas, aunque en casos más extremos toda la hoja se vuelve de color amarillo claro y eventualmente casi blanco (LA RUÉ y GERDTS, 1983).

Debido a la poca movilidad del Hierro en la planta, la sintomatología se manifiesta en las hojas jóvenes y sobre todo en aquellos brotes de rápido crecimiento (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1987).

Según URIU (1978), esta clorosis se presenta temprano en la estación de crecimiento y es posible que pueda desaparecer luego, a medida que la temporada va transcurriendo al recibir el árbol nuevo suministro de Hierro.

#### 2.3.2.1.6. Manganeso

Dentro de las funciones del Manganeso, se encuentran la de ser un factor esencial para la respiración y el metabolismo del Nitrógeno, actuando en ambos procesos

como activador enzimático. Sin embargo en muchos casos, el Manganeseo puede ser reemplazado por otros iones divalentes como  $Mg^{++}$ ,  $Co^{++}$ ,  $Zn^{++}$  y  $Fe^{++}$ , ocurriendo más frecuentemente su sustitución por el primero de estos elementos (GAUCH, 1973)

.

En relación con el metabolismo de los vegetales, el Manganeseo es activador de la descarboxilasa oxalosuccínica y de la deshidrogenasa málica, enzimas importantes del ciclo de Krebs, constituyéndose por tal motivo, este elemento, como el ion metálico predominante en las reacciones de este ciclo (LEHNINGER, 1983).

La reducción de los nitratos también es promovida por este elemento, al actuar como activador de la enzima nitrato-reductasa y la hidroxilamina-reductasa.

Por Ultimo, DEVLIN (1982) citando a GOLDACRE, menciona que pueden atribuirse a este elemento otras dos funciones como son su intervención en la degradación del AIA (ácido indolil-3-acético), auxina natural de las plantas y su participación en la producción de oxígeno dentro del proceso fotosintético durante la reacción de Hill.

En la mayoría de los árboles frutales, la deficiencia de Manganeso corresponde a una clorosis que abarca las zonas intervenales, no afectando a la nervadura central, las venas principales de las hojas y sus tejidos adyacentes, que se mantienen verdes (URIU, 1978).

GARDIA7.ABAL y ROSENBERG (1987), mencionan que estas zonas verdes son relativamente anchas y difusas en sus bordes y que cuando la deficiencia se inicia, sólo aparece por un tiempo en las hojas nuevas y desaparece al llegar la hoja a la edad adulta.

La deficiencia de este elemento puede confundirse con la de Hierro o Zinc. En el primero de los casos el color verde se mantiene solo en las venas en forma delgada y definida a diferencia de la franja que se mencionó antes para el Manganeso. En el caso del Zinc, ocurre una disminución del tamaño de la hoja y acortamiento de los entrenudos, lo que no ocurre para la deficiencia de Manganeso (URIU, 1987)\*.

Según RAZETO (1985), los problemas de deficiencia de manganeso ocurren principalmente en suelos alcalinos

---

\* URIU, K. 1987. Profesor Universidad de California, Davis  
Comunicación Personal.

lo que se asocia a una baja en la disponibilidad de este elemento en el suelo, a esos tenores de pH.

#### 2.3.2.1.7. Zinc.

Este elemento actúa como un importante catalizador en la nutrición vegetal siendo además un regulador de reacciones de oxido-reducción de los vegetales (CHILDERS, 1966).

Es así como interviene en la biosíntesis de la auxina llamada AIA (ácido indolil-3-acético), a través de su participación en la síntesis del triptofano que es un precursor de la misma (RAZETO, 1986).

LEHNINGER (1983), menciona además que el Zinc participa en el metabolismo de las plantas como activador de diversos enzimos, dentro de los cuales se puede mencionar a la anhidrasa carbónica, que cataliza la descomposición del ácido carbónico en anhídrido carbónico y agua. Del mismo modo la deshidrogenasa alcohólica, las deshidrogenasas de piridín-

nucleotido y algunas enzimas transportadoras de fosfato como la quinasa de las hexosas y la deshidrogenasa de la triosa-fosfato, dependen de la presencia de este elemento.

Las deficiencias de Zinc han sido reportadas en muchas zonas frutícolas del mundo, tanto en frutales de hoja caduca como persistente, habiéndose detectado en muy diversas condiciones de suelo (CHILDERS, 1966).

RAZETO (1986), menciona, por su parte, que en Chile, la deficiencia de este elemento es un problema nutricional frecuente en árboles frutales, ocurriendo en diversas especies, siendo probablemente los Manzanos y Naranjos los más afectados.

Los síntomas generales de esta deficiencia, corresponden a una disminución del tamaño de las hojas junto con un acortamiento del tamaño de los entrenudos, debido a lo cual se producen brotes cortos y "achaparrados" comunmente llamados "Rosetas". Las hojas, además de su menor tamaño, en algunas especies como el Duraznero, se presentan aguzadas, con sus bordes ondulados y muchas veces con moteados de

color amarillo entre las nervaduras, síntoma que incluso puede presentarse antes que la aparición de hojas pequeñas (RAZETO, 1986).

La fruta producida por los árboles afectados, disminuye de tamaño, es achatada y aunque al principio no se altera la calidad, en casos más severos, puede ocurrir pérdida de sabor y de jugo, siendo esto particularmente importante en el caso de los Cítricos (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1987).

La aparición de los síntomas, según URIU (1978), ocurre temprano en la temporada, especialmente en aquellos casos en que es importante, ocurriendo solo en la vegetación nueva al igual que los síntomas de otros metales a excepción del Cobre.

#### 2.3.2.1.8. Boro.

Aunque se han atribuido al Boro, muchos papeles en el metabolismo de la planta, el rol que cumple en el proceso de transporte de azúcares es el único que goza de

aceptación. Por ejemplo, se le ha atribuido la participación en la diferenciación y desarrollo celulares, en el metabolismo del Nitrógeno, en la fertilización, en la absorción activa de sales, en el metabolismo lipídico, en el metabolismo del Fósforo y en la Fotosíntesis (HEWITT, 1963). Sin embargo, faltan aún pruebas convincentes para determinar su participación en estos procesos, a pesar que a través de un modo indirecto, muchos de ellos se ven afectados por su deficiencia .

Según lo afirmado por LEHNINGER (1983), se han encontrado argumentos en favor de la intervención del Boro en el transporte de glúcidos por la planta, sugiriendo que este elemento actuaría al formar un complejo con los azúcares, permitiendo que atravesasen las membranas ó estando asociado a la membrana celular y cumpliendo la misma función.

El primer síntoma visible de la deficiencia de este elemento, es la muerte de la base del tallo lo que produce un crecimiento de brotes laterales cuyos ápices, al cabo de un tiempo, también terminan muriendo (URIU, 1978).

Este problema puede afectar, tanto a las ramillas como a las hojas o frutos. La lámina de las hojas se presenta más gruesa y encorvada y en algunos casos las nervaduras toman una coloración amarilla a cobriza, volviéndose muy frágiles. Las ramillas crecen en muchos casos en forma anormal y exudan goma, mientras que los frutos se agrietan, pudiendo presentar tejido corchoso anormal, la cascara se torna gruesa y en el caso de los Cítricos el albedo presenta "Bolsones" de goma (WYLIE, 1971).

Según CHILDERS (1966), la deficiencia de Boro ha sido reportada en muchas de las zonas frutícolas del mundo y al parecer no estaría directamente relacionada con el tipo de suelo, pero sí, suelos con escaso contenido de este elemento, se traducirán en deficiencia en los árboles. Según el mismo autor, otro factor que afectaría la aparición de síntomas, son la especie y el portainjerto utilizado.

### 2.3.3. Análisis Foliar.

Dentro de las herramientas utilizadas para la diagnosis del estado nutricional de un huerto, el análisis foliar se ha transformado en la más importante de éstas, puesto que presenta menos desventajas que las anteriormente descritas, siendo además de fácil y rápida aplicación. Si bien es cierto que la información que se obtiene depende de múltiples factores, es posible manejarlos con el objeto de que proporcione la información preliminar necesaria en la determinación de deficiencias y excesos de elementos importantes en el cultivo de un frutal (SMITH, 1966).

WYLIE (1971), menciona que para el análisis químico de tejido es posible utilizar cualquier parte de la planta como hojas, raíces, fruta, corteza u otras partes; pero que la mayor cantidad de información se ha obtenido en base al uso de las hojas, por la facilidad en la recolección de la muestra y su manejo posterior y además por que es un órgano dinámico del vegetal en el cual se ven reflejados todos los procesos que ocurren dentro de él.

El concepto de diagnóstico nutricional mediante el uso del análisis foliar, se basa en la premisa de que al estar todos los factores que afectan el desarrollo de la planta en condiciones óptimas, el crecimiento y desarrollo de esta, está íntimamente relacionado con el contenido de los elementos esenciales en la hoja (WYLIE, 1971).

La aplicación del análisis foliar es posible de dividir en tres fases: la recolección de la muestra, el análisis químico de esta y la interpretación de los resultados.

Si cada una de estas etapas se realiza con exactitud y acuciosidad, este análisis puede permitir, en ausencia de otros factores no nutricionales que limiten al cultivo, diagnosticar acertadamente el estatus nutricional de un huerto, el que al ser comparado con los estándares determinados para la especie, permitirá ajustar el programa de fertilización (si existe una deficiencia o exceso) y de este modo aumentar los rendimientos. Por otra parte, el análisis foliar puede indicar que el nivel nutricional del huerto es adecuado y que por lo tanto no debería esperarse respuesta al

variar la norma de fertilización, aumentando uno de sus elementos (ROACH y BOULD, 1963).

La concentración foliar de nutrientes está controlada primariamente por el suministro de nutrientes desde el suelo, pero puede estar influenciada por factores secundarios, tanto internos como externos, dentro de los cuales se puede mencionar a: posición de la hoja y época de muestreo, efecto del portainjerto utilizado, efecto de la variedad, variaciones de año a año por efectos climáticos como temperatura o precipitaciones, daño por frío u otros, plagas o enfermedades, sistema de riego, manejo del suelo, interacciones iónicas entre elementos, a parte de los errores en los métodos de muestreo y las relaciones propias suelo-planta-nutriente (BOULD, BROADFIELD y CLARKE, 1960).

Dichos factores son responsables de las variaciones en la concentración foliar de nutrientes que a veces ocurre entre muestras tomadas en el mismo o distinto huerto con condiciones similares de fertilidad de suelos. Debido a lo anterior, en oportunidades la utilidad del análisis foliar como herramienta de diagnóstico y como guía para los requerí-

mientes de fertilizantss, es cuestionada, a pesar de que no existe una evidencia real que sugiera que esos factores secundarios que afectan la concentración de nutrientes, actualmente afecten la relación básica entre el estatus nutricional y el funcionamiento de la planta (BOULD, 1966).

En general, la utilización del análisis foliar supone tres decisiones importantes: qué hojas muestrear, cuándo hacerlo y cómo hacerlo.

### 3.3.1. Tipo de hoja a muestrear.

Como ya es sabido, la concentración foliar de nutrientes cambia con la edad y con la posición de la hoja dentro de la ramilla (EMERT, 1959).

Es así como BOULD (1966), citando a KIDSON, GOODALL y MASÓN; indica que, por ejemplo, las concentraciones de Magnesio en general aumentan desde la base hacia el ápice de las ramillas de Manzano y que del mismo modo los contenidos de Potasio son mayores en la sección media a apical de

estos brotes. El mismo autor, señala también que a diferencia de lo anterior, las concentraciones de Calcio, Magnesio y Manganeso, son mayores en las hojas basales de aquellos dardos sin producción. WYLIE (1971), menciona además, que los elementos como Zinc y Hierro, se encuentran en mayor concentración en las hojas basales, mientras que otros como Nitrógeno, Fósforo y Azufre presentan la situación inversa.

Pensando en lo anterior, y para evitar errores en la interpretación de los resultados de cada análisis, es que se ha estandarizado un tipo de hoja a muestrear. En aquellas especies que presentan dardos, generalmente se usan hojas de dardos sin frutos, mientras que en aquellos que no los presentan o en los cuales es difícil determinar si el dardo ha sido frutal o no, ya que al efectuar el muestreo se ha cosechado, se saca la hoja del tercio medio de la ramilla del año. En general se prefiere sacar muestras de dardos sin frutos, aunque también se pueden utilizar hojas de dardos con fruta, lo importante en todo caso es que la muestra sea uniforme y que se indique claramente el tipo de hoja que se ha muestreado (URIU, 1987)\*.

---

\* URIU, K. 1987. Profesor Universidad de California, Davis.  
Comunicación Personal.

### 3.3.2. Cuándo maestrear.

Como ya se dijo anteriormente, el status nutricional de la hoja, presenta grandes variaciones durante el periodo vegetativo de ésta. De este modo, los diferentes elementos varían en forma independiente a través de la temporada de crecimiento (EMBLETON et. al., 1962). A pesar de lo cual, y como lo muestra la Figura 3, se presentan periodos de relativa estabilidad, los que son aprovechados para realizar los análisis foliares con el objeto de descartar la posibilidad de que las diferencias que puedan obtenerse, se deban a las variaciones naturales del nivel del elemento y no a diferencias debidas a la fertilización. Por otra parte, al confeccionar cada estándar nutricional, se usó una época en que el nivel del mayor número posible de elementos se mantuviese estable, para de este modo, aprovechar al máximo la toma de cada muestra en particular. Es así como, para el caso del Palto, se utilizan hojas de cuatro a seis meses de edad, de brotes sin fruta, provenientes del crecimiento primaveral lo que corresponde en Chile a los meses de Febrero a Marzo {EMBLETON et. al., 1962).

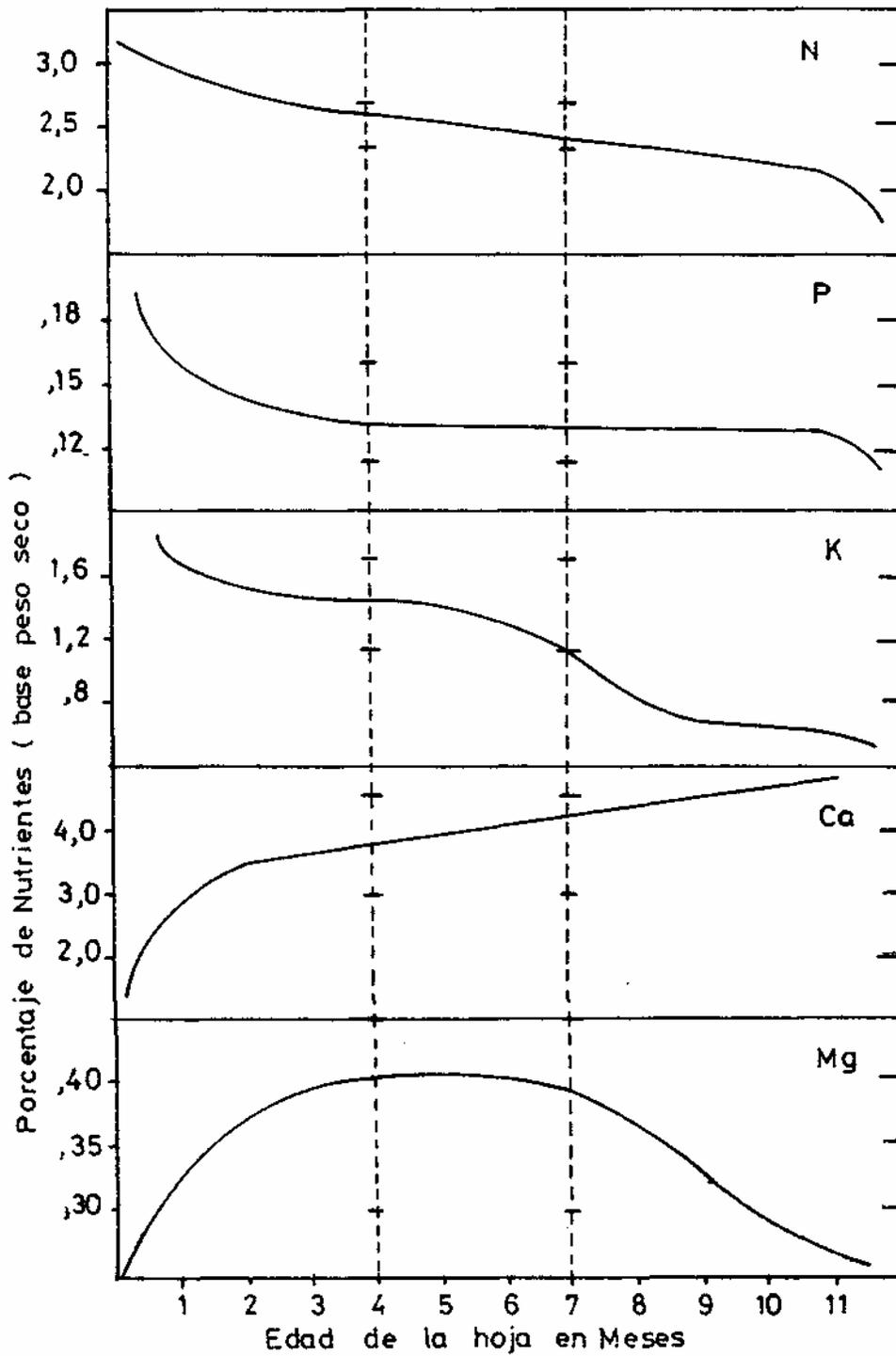


Figura 3. Variación estacional de Macronutrientes en hojas de Naranjos (*Citrus sinensis*) (EMBLETON, et. al., 1972)

Por lo tanto, para que cada muestra tenga la validez necesaria y pueda ser comparada con el estándar nutricional, es preciso que se tome en la misma época en que este último se estableció para cada especie en particular. En el Cuadro 4, se presenta la época a muestrear y el tejido más apropiado para el análisis foliar de diferentes especies.

### 3.3.3. Obtención de la muestra.

Una vez solucionados los dos puntos anteriores, es necesario que la muestra que se obtenga, sea representativa de los distintos sectores que presente el huerto y que se deseen estudiar, además de proporcionar al laboratorio la cantidad de tejido necesario para efectuar los análisis. Generalmente, se estima que 100 a 150 hojas, dependiendo del tamaño de estas, es una buena cantidad como para realizar todos los análisis.

Antes de obtener la muestra es conveniente realizar una apreciación visual del huerto para determinar su uniformidad en cuanto al desarrollo de los árboles y al tipo

CUADRO 4. Época y tejido a utilizar para el análisis foliar en diferentes especies.\*

ESPECIE	TEJIDO	EPOCA DE MUESTREO
Pomáceas	Hoja de dardo sin fruta.	15 Febrero - 15 Marzo
Frutales de Caroso con Dardo	Hoja de dardo sin fruta ó hoja del tercio medio de brote del año.	15 Enero - 15 Febrero
Frutales de Caroso sin dardo.	Hoja del tercio medio de brotes del año.	15 Enero - 15 Febrero
Cítricos	Hoja de 4-7 meses de edad del flujo primaveral.	Enero - Marzo
Vid	Pecíolo de la hoja opuesta al primer racimo.	Durante Noviembre (Floración).

\* Adaptado de WYLIE, (1971).

de suelo en que se encuentra. Por lo general, se recomienda obtener una muestra por cada 3 a 7 ha de plantación, pero la extensión exacta de lo que abarque cada una de ellas va a depender de cada situación en particular.

Nunca hay que mezclar en una misma muestra, hojas de árboles que presenten deficiencias marcadas, con hojas de aquellos aparentemente normales, y en caso de que se produzca esta situación, será, necesario tomar dos muestras separadas.

Otro punto importante de destacar es la representatividad de la muestra, la que se puede lograr muestreando en forma de "Zig-Zag" o de cualquier otra manera que asegure cubrir todo el cuartel, recolectando árbol por medio, 1 a 2 hojas, sobre el trazado prefijado, tratando de sacar la hoja de la zona periférica del Árbol a la altura del hombro.

Al ir colectando las hojas, estas se van colocando en una bolsa de papel junto con la tarjeta de identificación que deberla incluir:

- Identificación del predio
- Sector del huerto muestreado
- Fecha de muestreo
- Edad y variedad de los árboles
- Carga y cualquier observación pertinente acerca del estado y apariencia general de los árboles.

La muestra debe ser protegida del calor excesivo y la exposición al sol y debe enviarse lo antes posible al laboratorio, manteniéndola ojalá refrigerada durante el periodo que transcurre hasta que esto se haga.

La interpretación de los resultados analíticos que entrega el laboratorio de servicio, es quizás la parte más compleja de todo este proceso, ya que será necesario considerar todos aquellos factores que puedan estar afectando la concentración foliar de nutrientes a fin de lograr una idea correcta acerca del verdadero status nutricional del huerto.

Para llegar a este diagnóstico acertado, es necesario conocer: las concentraciones foliares de cada

nutriente asociadas con la sintomatología visual de deficiencia ( Rango Deficiente); la concentración de nutrientes en la cual, pese a no existir síntomas, se producirá un efecto al aplicar un elemento deficiente (Deficiencia Oculta o Rango Oculto); la zona óptima o adecuada en la cual la concentración de nutrientes está asociada al máximo crecimiento y producción (Rango Adecuado) y las concentraciones a las cuales aquellos nutrientes causan un efecto de toxicidad en el vegetal , produciendo una disminución en la producción y/o crecimiento (Rango Excesivo), (BOULD, 1964).

Como dicha información está resumida, para cada especie, en los estándares nutricionales (Cuadro 5), basta comparar aquellos, con la información arrojada por el análisis, para comenzar el proceso de diagnóstico. Dicho proceso debe incluir, necesariamente, a todos aquellos factores tanto climáticos como de manejo que afectando la concentración foliar de un elemento, puedan llevar a realizar una interpretación errónea de los resultados analíticos (SMITH, 1966).

El análisis foliar es una herramienta muy útil para el diagnóstico nutricional del huerto pero que de todas

CUADRO 5. VALORES MINIMOS Y MAXIMOS DEL RANGO OPTIMO DE DIVERSOS ELEMENTOS EN DIFERENTES ESPECIES. (Los valores de los macro-elementos están expresados en % y los microelementos, en partes por millón (ppm) en base a materia seca).\*

ELEMENTO	RANGO	ESPECIE					
		Manzano	Peral	Duraznero	Damasco	Ciruelo Japonés	Ciruelo Europeo
Nitrógeno	Mínimo	2,00	2,00	2,20	1,30	2,20	2,20
	Máximo	3,00	2,80	3,80	2,80	3,00	2,80
Fósforo	Mínimo	0,12	0,10	0,12	0,11	0,11	0,14
	Máximo	0,22	0,18	0,20	0,20	0,20	0,30
Potasio	Mínimo	0,70	0,70	0,80	2,00	2,00	1,20
	Máximo	1,60	1,60	3,20	3,60	3,20	2,80
Magnesio	Mínimo	0,30	0,25	0,35	0,25	0,30	0,30
	Máximo	0,60	0,60	1,10	0,70	0,60	0,60
Manganeso	Mínimo	25,00	25,00	30,00	30,00	25,00	30,00
	Máximo	140,00	100,00	140,00	100,00	100,00	100,00
Hierro	Mínimo	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	Máximo	240,00	240,00	240,00	140,00	240,00	140,00
Cobre	Mínimo	3,50	3,50	3,00	2,50	3,00	3,00
	Máximo	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Boro	Mínimo	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	25,00
	Máximo	120,00	180,00	120,00	70,00	140,00	80,00
Zinc	Mínimo	13,00	10,00	18,00	30,00	---	---

\* Adaptado de WYLIE, (1971).

maneras presenta algunas desventajas que es preciso mencionar.

La primera de ellas consiste en el hecho de que este análisis, solamente indica el nivel de un nutriente en la hoja y que al estar bajo el rango óptimo, esto no siempre es posible de corregir, pues aunque la disponibilidad en el suelo sea adecuada y se aplique fertilizantes, el árbol puede, por alguna razón, no ser capaz de absorberlo y se incurrirá en gastos innecesarios de fertilización sin lograr efectos en la producción de este. Del mismo modo, si no existen factores externos que influyan en la nutrición de la planta, es difícil saber cuanto fertilizante aplicar para aumentar el nivel foliar de cada elemento hasta el rango adecuado y sólo se podrá tener una idea más cercana cuando se maneje la información de temporadas anteriores para el huerto. Así, será posible ir "afinando" cada norma de fertilización y no incurrir en errores que signifiquen déficit o excesos nutricionales.

Otra conocida limitación del análisis foliar es que no constituye un mecanismo completo de diagnóstico, ya que refleja en forma muy pobre los cambios en las reservas

del suelo, acidez de este y otros factores que afectan el crecimiento del vegetal en forma gradual, por lo que allí juega un papel importante el análisis de suelo como técnica complementaria. Es así como, esta técnica, puede no ser un parámetro confiable del nivel nutricional del árbol completo, debido a que algunos elementos ven limitada su absorción por la selectividad de las raíces. Por ejemplo, puede ser que en los resultados analíticos no se vea reflejada una toxicidad por excesos de Cobre o Sodio a nivel radicular y sólo cuando el daño ya ha sido importante, esa situación se vea reflejada a nivel foliar (SMITH, 1966).

En cuanto a las ventajas que este método presenta, quizás la mayor sea el hecho de que proporciona información acerca de la cantidad exacta de los diversos nutrientes en la planta y por consiguiente permite efectuar un diagnóstico, por medio del cual corregir ciertos problemas antes de que estos se agraven. Permite además, tener una visión más real del estado nutricional, en cuanto a todos los elementos esenciales y por último no sólo permite detectar y corregir la situación llamada "Hambre Oculta" (Figura 1), sino que indica cuando hay excedentes de algún elemento lo que

implicará no incluirlo en la norma de fertilización y así abaratar los costos. Es así como se ha visto que en nuestro país, en la mayoría de los casos no se justifica abonar con Fósforo los huertos frutales (GARDIAZABAL Y ROSENBERG, 1986).

#### 2.3.4. Pruebas de terreno y ensayos de campo.

Si bien es cierto que las técnicas descritas anteriormente constituyen herramientas muy importantes para conocer la situación nutricional de un huerto, la realización de ensayos en él y la observación del mismo a través del tiempo, completan un conjunto de procedimientos que hacen más confiable el diagnóstico nutricional que pueda realizarse de este .

El realizar ensayos de campo, pareciera difícil, largo y costoso; pero al tomar año a año la decisión acerca de la norma de fertilización a utilizar en cada huerto, se está, haciendo y basta solo un registro ordenado de la información para que esta pueda ser utilizada con el propósito de mejorar el manejo nutricional de los árboles.

Por otra parte, es posible realizar pruebas de terreno de corta duración que permitirán, al cabo de pocos días o meses, el determinar algún problema nutricional que afecte al huerto. Es así como GARDIAZABAL y ROSENBERG (1987),

mencionan que existen algunos elementos que se absorben rápidamente por pulverizaciones al follaje y en corto tiempo puede notarse su acción. Algunos elementos posibles de introducir rápidamente por el follaje son, el Nitrógeno (en forma de Urea), Zinc, Manganeso, Cobre, Molibdeno, Boro y por el suelo Nitrógeno, Boro y Molibdeno. Los cambios en el suelo del Calcio, Fósforo y Magnesio, son más lentos. También, según los mismos autores, es posible aplicar Magnesio en forma de nitrato por pulverizaciones al follaje y Fósforo en formulaciones específicas para este tipo de uso.

### 3. MATERIALES Y MÉTODO

El presente estudio se realizó en base a la información recopilada por el Servicio de Análisis de Suelos y Foliar de la Estación Experimental "La Palma", dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica de Valparaíso.

En una primera etapa, se procesaron los resultados analíticos de 824 muestras foliares de los cultivares Fuerte y Hass, provenientes de diferentes huertos de la Quinta región del país, correspondiendo éstos a 8 temporadas (1980-1987).

Las muestras de Nitrógeno, Fósforo y Potasio foliar se contrastaron con los estándares nutricionales propuestos por GOODALL, EMBLETON y PLATT, (1965) para el cultivar Fuerte y la modificación propuesta por GARDIAZABAL (1987)\*, para Nitrógeno en cultivar Hass como se observa en el Cuadro 6.

---

\*GARDIAZABAI, F. (1987). Profesor Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso. Comunicación personal.

CUADRO 6. Estándar nutricional del Palto (Persea americana Mill.)\*

Cultivar	Elemento	Unidades en base peso seco	RANGOS		
			Deficiente < que	Adecuado	Exesivo > que
Fuerte	N	%	1,60	1,60-2,00	2,00
Hass**	N	%	1,60	2,00-2,50	2,50
Todas	P	%	0,05	0,05-0,25	0,30
Todas	K	%	0,35	0,75-2,00	3,00

\* Condensado de GOODALL, EMBLETON y PLATT, (1965)

\*\* GARDIAZABAL, F. (1987).

Posteriormente, y en base a la información que fue posible obtener en diferentes huertos de la zona, se procedió a un estudio de casos para ambos cultivares, utilizándose, para tal efecto, diferentes modelos de regresión múltiple de la forma:

$$Y = f \{ X_1, X_2, \dots, X_n \}$$

En donde:      Y = Variable dependiente  
                  X<sub>n</sub> = Variables independientes

Las variables consideradas en los diferentes modelos, se presentan en el Cuadro 7.

CUADRO 7. Variables consideradas en los diferentes modelos de regresión múltiple para el Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte y Hass.

FACTORES	DENOMINACION
Nitrógeno Foliar	N
Fósforo Foliar	P
Potasio Foliar	K
Fertilización Nitrogenada	FN
Nitrógeno Foliar Cuadrático	N <sup>2</sup>

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Nitrógeno

En el Cuadro 8, se observa la distribución de las muestras del cultivar Fuerte para las diferentes categorías nutricionales.

En él, se puede apreciar que un porcentaje cercano al 65% de las muestras corresponde a la categoría "Adecuado", situación que se mantiene a través de los años, aún cuando se observan pequeñas variaciones. Sin embargo, en las categorías "Deficiente" y "Exesivo", no se observa una tendencia constante a través de los años sino más bien una alternancia de valores bajos (4 ó 5%) y altos (30 ó 40%). Esta situación se debería a los efectos del marcado ciclo de añerismo que muestra este cultivar, existiendo de tal modo, mayor porcentaje en niveles deficientes en los años de alta producción y mayor porcentaje de niveles excesivos en los años de baja producción, de acuerdo a lo expresado por EMBLETON y JONES (1964).

CUADRO 8. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Nitrógeno en Palto (Persea americana Mill.) cv. Fuerte, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

---

CATEGORIAS DE NITROGENO			
ANOS	DEFICIENTE	ADECUADO % de las muestras	EXESIVO
80	4,6	63,6	31,8
81	28,6	54,3	17,1
82	40,5	54,1	5,4
83	20,0	71,4	8,6
84	19,6	65,2	15,2
85	28,6	60,0	11,4
86	30,2	65,1	4,7
87	15,0	65,0	20,0

---

Aún cuando el añerismo puede explicar la situación antes mencionada, se puede apreciar que los mayores porcentajes de muestras en la categoría "Deficiente", indican la existencia de problemas de nutrición nitrogenada.

Por otra parte, los niveles excesivos de Nitrógeno foliar, según EMBLETON et. al. (1959 a, 1959 b) no sólo no aumentan la producción sino que, por el contrario, son los causantes de severas bajas en ella. De acuerdo a lo anterior, sería recomendable estudiar esta situación, toda vez que existe un 20% de las muestras en esta categoría para la última temporada.

En el Cuadro 9, se presentan los porcentajes de muestras para las diferentes categorías del cultivar Hass. Puede observarse que en este cultivar, los porcentajes obtenidos en las categorías "Deficiente" y "Exesivo" son pequeños, presentándose años en que no existió ninguna muestra en dichas categorías y observándose que alrededor del 90% de ellas, se ubica en las categorías "Bajo" y "Adecuado".

CUADRO 9. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Nitrógeno en Palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

AÑOS	CATEGORIAS DE NITROGENO			
	DEFICIENTE	BAJO % de las muestras	ADECUADO	EXESIVO
80	-	27,3	54,5	18,2
81	2,2	39,1	58,7	-
82	13,9	51,1	34,9	-
83	-	55,6	44,4	-
84	-	30,8	61,5	7,7
85	2,0	30,6	65,4	2,0
86	5,7	43,4	50,9	-
87	7,0	25,4	63,4	4,2

Esta situación obedecería a que, tradicionalmente, en los huertos de la zona, los productores han utilizado mayores dosis de fertilización nitrogenada para este cultivar.

Sin embargo, existe un porcentaje importante de las muestras que presenta niveles bajos en Corma sostenida a través de los años, por lo que es dable pensar que las dosis de fertilización nitrogenada aún no son suficientes para suplir las mayores exigencias de este cultivar, puesto que su ciclo de añerismo es muy inferior al del cultivar Fuerte y su productividad más pareja y mayor a través de los años.

#### 4.2. Fósforo.

En los Cuadros 10 y 11 se muestra la distribución de los contenidos de Fósforo foliar para las distintas categorías y cultivares.

Puede observarse que para ambos cultivares en estudio, cifras cercanas al 100% de las muestras se mantienen sostenidamente en la categoría "Adecuado". Esta situación

CUADRO 10. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Fósforo en Palto (Persea americana Mill.) cv. Fuerte, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

ANOS	DEFICIENTE	CATEGORIAS DE FOSFORO			RANGO EXCESIVO
		RANGO OCULTO*	ADECUADO	RANGO OCULTO**	
		% de las muestras			
80	-	-	100,0	-	-
81	-	-	100,0	-	-
82	-	2,7	94,6	-	2,7
83	-	-	100,0	-	-
84	-	-	100,0	-	-
85	-	-	100,0	-	-
86	-	-	100,0	-	-
87	2,5	7,5	90,0	-	-

\* Rango entre 0,05 y 0,07 ppm.

\*\* Rango entre 0,26 y 0,30 ppm.

CUADRO 11. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Fósforo en Palto (Persea americana Mill) cv. Hass, en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

AÑOS	CATEGORIAS DE FOSFORO				
	DEFICIENTE	RANGO OCULTO* % de las muestras	ADECUADO	RANGO OCULTO**	EXCESIVO
80	-	-	95,5	4,5	-
81	-	-	100,0	-	-
82	-	-	100,0	-	-
83	-	-	100,0	-	-
84	-	-	100,0	-	-
85	-	-	100,0	-	-
86	-	-	100,0	-	-
87	-	-	100,0	-	-

\* Rango entre 0,05 y 0,07 ppm.

\*\* Rango entre 0,26 y 0,30 ppm.

concuenda con lo informado por LYNCH et. al. (1954); LYNCH y GOLDWEBER (1965); GARDIAZABAL y ROSENBERG (1986) en orden a que esta especie no ha presentado problemas nutricionales de Fósforo.

Confirma lo anterior, los niveles medios a altos de Fósforo disponible en el suelo, que se han determinado a través de análisis de fertilidad de suelos en la zona. Cabe mencionar, que la mayor parte de los productores no incluye fertilizantes fosfatados en su norma habitual de fertilización.

#### 4.3. Potasio.

En los Cuadros 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos para Potasio. Se puede apreciar que para ambos cultivares la situación es similar, puesto que casi la totalidad de las muestras se encuentra en las categorías "Adecuado" y "Rango Oculto".

Para el cultivar Fuerte, la proporción de muestras que se encuentran en "Rango Oculto", ha permanecido más

CUADRO 12. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Potasio en Palto (Persea americana Mill.) cv. Fuerte, en la Quinta Región del país de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

AÑOS	DEFICIENTE	CATEGORIAS DE POTASIO			
		RANGO OCULTO* %de las muestras	ADECUADO	RANGO OCULTO**	EXCESIVO
80	-	22,7	77,3	-	-
81	-	11,4	88,6	-	-
82	-	19,4	80,6	-	-
83	-	31,4	68,6	-	-
84	-	20,4	79,6	-	-
85	-	11,1	83,7	-	-
86	-	16,3	83,7	-	-
87	-	22,5	77,5	-	-

\* Rango entre 0,35 y 0,74 ppm.

\*\* Rango entre 2,10 y 3,00 ppm.

CUADRO 13. Distribución porcentual del número de muestras foliares de Potasio en Palto (Persea americana Mill.) cv. Hass en la Quinta Región del país, de acuerdo a las diferentes categorías nutricionales.

AÑOS	CATEGORIAS DE POTASIO				
	DEFICIENTE	RANGO OCULTO*	ADECUADO %de las muestras	RANGO OCULTO**	EXCESIVO
80	-	9,1	90,9	-	-
81	-	2,2	97,8	-	-
82	-	16,3	86,7	-	-
83	-	15,6	84,4	-	-
84	-	21,2	78,8	-	-
85	-	12,2	87,8	-	-
86	-	33,9	66,1	-	-
87	1,4	35,2	63,4	-	-

\* Rango entre 0,35 y 0,74

\*\* Rango entre 2,10 y 3,00

constante a través del tiempo, situación que no ocurre con el cultivar Hass, en donde el porcentaje de muestras en esta categoría se ha incrementado en los dos últimos años/llegando a valores superiores al 30%.

Si bien es cierto, este hecho podría llevar a pensar en la existencia de un problema nutricional de Potasio, EMBLETON, durante su visita a esta zona, en 1984, señaló que no se han encontrado efectos benéficos sobre la producción al incrementar los niveles foliares de Potasio cuando estos se encuentran en "Rango Oculto", reafirmando lo reportado por LYNCH et. al. (1954) y LYNCH y GOLDWEBER (1956).

Por otra parte, es probable que dichos niveles sean consecuencia de daños radiculares, deficiencias en el manejo de riego o antagonismos Nitrógeno/Potasio, debido a excesos de Nitrógeno. Sin embargo, en cuanto a este último punto, es posible señalar que esta situación no concordarla con los niveles de Nitrógeno foliar que se muestran en el Cuadro 9, explicándose por esta causa sólo un 3% de los casos para el cultivar Hass y un 5% para el cultivar Fuerte.

#### 4.4. Estudio de casos

Con el objeto de determinar la incidencia de los niveles foliares de N, P, K, además de la Fertilización Nitrogenada, sobre la variabilidad de la producción de los dos cultivares estudiados, se realizó un Análisis de Regresión Múltiple, buscando modelos que incluyesen los factores en estudio. Para lo anterior, se analizaron 46 casos para el cultivar Fuerte y 116 casos para el cultivar Hass.

En los Cuadros 14 y 15, se presentan los coeficientes de determinación corregidos, que se obtuvieron en los diferentes modelos de regresión múltiple, que incluyeron las distintas variables estudiadas para cada cultivar.

En primer término, las regresiones múltiples Y5a e Y5b corresponden a aquellos modelos en que se incluyeron la totalidad de las variables consideradas, siendo sus coeficientes  $R^2$  iguales a 72,1 y 79,4 respectivamente.

CUADRO 14. Modelos de regresión múltiple obtenidos para Palto (Persea americana Mill) cv. Hass.

FACTORES CONSIDERADOS †		R²
Y5a	= N* + P + K + FN* + N****	72,1
Y3a	= N*** + FN* + N****	72,2
Y2a	= N** + N****	71,2

\* : El significado del factor que interviene en la regresión se encuentra en el cuadro 7.

\*\*\* : variables significativas al 1 %

\*\* : variables significativas al 5 %

\* : variables significativas al 1 %

CUADRO 15. Modelos de regresión múltiple obtenidos para Palto (Persea americana Mill) cv. Fuerte.

FACTORES CONSIDERADOS ♦	R <sup>2</sup>
Y5b = N*** + P** + K + FN + N:***	79,4
Y3b = N*** + P** + N:***	80,0
Y2b = N*** + N:***	76,8

\* : El significado del factor que interviene en la regresión se encuentra en el Cuadro 7.

\*\*\* : variables significativas al 1 %

\*\* : variables significativas al 1 %

\* : variables significativas al 5 %

De acuerdo a lo anterior y aunque el numero de variables consideradas en el estudio pareciese ser bajo, estas permiten explicar en ambos casos, un porcentaje importante de la variabilidad de la producción, lo que ratifica la importancia de dichas variables y justifica su inclusión en este estudio.

Pese a lo anterior, en estos primeros modelos, aparecen factores que resultaron no ser significativos, siendo estos, para el caso del cultivar Fuerte, FN y K y para el cultivar Hass P y K.

En el cultivar Hass, la situación de los factores P y K, es posible de explicar por el hecho de que los valores de dichas variables permanecen más constantes y dentro de un rango más estrecho que las otras variables estudiadas, por lo que el modelo estadístico no las considera como gravitantes en las variaciones de producción. Particularmente para el caso de P en el cultivar Fuerte, ocurre que esta variable sí es significativa al 1% y presenta además un coeficiente negativo dentro del modelo, lo que significaría que en aquellos años en que existe mayor producción, los

niveles foliares de este elemento descienden, por lo que dicha relación aparece como gravitante en la producción sin que en términos prácticos llegue a serlo, toda vez que los productores no realizan fertilizaciones en base a productos que contengan este elemento, al no haberse encontrado respuesta a las aplicaciones de fertilizantes fosfatados (TOERIEN, 1987)\*.

Para el cultivar Fuerte, además del factor K, aparece como no significativo el factor FN, lo que obedecería a la estrecha relación existente entre los factores N y FN por lo que el efecto de dicha variable se verá reflejado en forma más directa a través del factor N.

En segundo lugar, las proposiciones Y3a (cv. Hass) e Y3b (cv. Fuerte) dejan de lado aquellas variables que resultaron no ser significativas, permitiendo de esta manera aumentar el coeficientes de determinación de ambos modelos a valores de 72,2 y 80,0 respectivamente.

---

\* TOERIEN, 1987. Presidente Asociación Productores de Paltos Westfalia Estáte, Duivelskloof, RSA. Comunicación personal.

Ahora bien, al analizar en forma separada ambas proposiciones, es posible mencionar que, para el caso del modelo Y3a(cv. Hass), los factores más importantes en este caso serían N y N<sup>2</sup>, ya que al dejar fuera del modelo al factor FN, se obtiene un nuevo modelo (Y2a) que arroja un coeficiente R<sup>4</sup>=71,2 lo que dejaría de manifiesto que el factor FN no es relevante en el modelo de regresión múltiple.

Para el caso del modelo Y3b (cv. Fuerte), de igual forma que para el cultivar Hass, los factores de mayor importancia corresponden a N y N\* ya que al ser eliminada la variable P, se tiene un nuevo modelo ( Y2b) con el cual se logra un R<sup>2</sup>= 76,8, reafirmando que el fósforo juega un papel menos importante en dicho modelo.

En general, los resultados obtenidos en estas dos últimas proposiciones, dejan de manifiesto que el factor más importante en la producción, para el caso de los dos cultivares estudiados, es el Nitrógeno, lo que concuerda con lo reportado por FLAMM, (1970) y MACCHIAVELLO, (1970), quienes señalan que este elemento sería el componente nutricional más gravitante en la producción y crecimiento del Palto.

A este respecto, es importante destacar lo reportado por EMBLETON, JONES y GARBER (1959a, 1959b) y EMBLETON y JONES (1964), quienes en un experimento controlado con árboles del cultivar Fuerte, encontraron una relación curvilínea entre el nivel foliar de Nitrógeno y la producción, llegando de igual forma que en el presente estudio, a un modelo estadístico como el presentado en las proposiciones Y2a e Y2b (Cuadros 14 y 15 respectivamente), pero con un menor coeficiente de determinación ( $R^* = 68,7$ ). Dichos autores destacan además, la significancia del coeficiente de correlación entre la producción y los factores N y  $N^2$ , lo que corroboraría los resultados obtenidos en este estudio.

El aumento en el crecimiento, supone un incremento en el volumen total celular, debido a la síntesis de protoplasma adicional, siendo el Nitrógeno el principal elemento componente de los compuestos nitrogenados protoplasmáticos. Dicho crecimiento aumentaría al hacerse mayor el porcentaje de Nitrógeno foliar, hasta un nivel en que comienza a producirse un desequilibrio en la relación de nutrientes carbohidratados y nutrientes nitrogenados ocurriendo en ese punto, que la curva de crecimiento y producción comienza a

tomar un carácter asintótico (DEVLIN, 1982). Reafirma lo anterior, el hecho de que los modelos que incluyeron la variable  $N^2$ , presentan los más altos  $R^2$  dentro de los modelos estudiados.

## 5. CONCLUSIONES

Existen claras diferencias en la nutrición nitrogenada de ambos cultivares. Para el caso de Fuerte, los problemas se centran, principalmente en deficiencias de Nitrógeno y en menor grado en excesos de este elemento. Para el cultivar Hass, el problema se sitúa en la categoría "Bajo".

Con respecto al Fósforo, no se determinaron problemas nutricionales en ninguno de los cultivares, encontrándose la casi totalidad de las muestras en la categoría "Adecuado".

Para el caso del Potasio, se observó que alrededor del 20% de las muestras del cultivar Fuerte, estaban en la categoría de "Rango Oculto" y que este porcentaje se incrementaba en el cultivar Hass.

De acuerdo con la información procesada en este estudio, se logró establecer que para ambos cultivares, los factores más importantes en la variabilidad de la producción de esta especie serían  $N$  y  $N^2$ , logrando explicar un 71,2% de la productividad en el cultivar Hass y un 76,8% en el cultivar Fuerte.

## 6. RESUMEN

Se analizaron 824 resultados de análisis foliares de Palto ( Persea americana Mill.) cv. Fuerte y Hass, correspondientes al periodo 1980-1987, provenientes de la información acumulada en el Laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos y Foliar de la Estación experimental "La Palma", dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica de Valparaíso.

La información obtenida se contrastó con los estándares nutricionales propuestos para la especie. Los resultados indicaron un comportamiento diferente, con respecto al Nitrógeno, para los dos cultivares en estudio. Para el cultivar Fuerte, los problemas se centraron principalmente en deficiencias de Nitrógeno y en menor grado, en excesos de este elemento. Para el cultivar Hass, el problema se sitúa en la categoría "Bajo".

Con respecto al Fósforo, no se detectaron problemas nutricionales en ninguno de los dos cultivares,

encontrándose la casi totalidad de las muestras en la categoría "Adecuado".

En cuanto al Potasio, se observó que alrededor del 20% de las muestras del cultivar Fuerte, estaba en la categoría de "Rango Oculto" y que este porcentaje se incrementaba en el cv. Hass.

En segundo término y en base a la información acumulada en diversos predios de la zona, se procedió a realizar un Análisis de Regresión Múltiple en el cual se incluyó a los factores N, P, K, FN y N<sup>2</sup>. El resultado obtenido en estos modelos de regresión permitió explicar para el cultivar Hass el 71,2% de la variabilidad de la producción y para el cultivar Fuerte el 76,8 % de la misma. Los factores de mayor incidencia dentro de los modelos obtenidos, fueron en ambos casos, N y N<sup>2</sup>.

## 7. LITERATURA CITADA

ARAOS, F. 1977. Manual de uso de fertilizantes. Santiago, Mantor. 149 p.

BOULD, C.; BRADFIELD, G. y CLARKE, M. 1960. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruits crops I. General principles, sampling techniques and analytical methods. J. Sci. Fd. Agric. 11 : 229-242.

-----, 1964. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruits crops. Sand culture N, P, K, Mg, experimental with Strawberry (Fragaria sp.). J. Sci. Fd. Agric. 15 : 474-487.

-----, 1966. Leaf analysis of deciduous fruits. en: Childers, N. F. ed. Nutrition of fruits crops. 2ed. New Jersey, pp: 651-684.

BUCKMAN, N. y BRADY, N. C. 1966. The nature and properties of soils. Macmillan, New York. 167 p.

CARLSON, R. 1978. Nutrients in the soil. en: Micke, W. y Kester, D. eds. Almond Orchard Management. U. Calif. Davis. pp: 83-88.

CHILDERS, N. F. 1966. Special photographic section. en: -----  
----- . Nutrition of fruits crops. 2ed. New Jersey.  
pp: 391-488.

DAVIES, D.D.; GIOVANELLI, J. y REES, T. 1969. Bioquímica vegetal. Omega, Barcelona. 612 p.

DEVLIN, R.M. 1982. Fisiología vegetal. 4ed. Omega, Barcelona. 612 p.

EMBLETON, T.; JONES, W. y GARBER, M. 1959a. Curvilinear relationship between leaf nitrogen and yield of Fuerte avocado. Proc. Amer. Soc. Hort. Se. 74: 378-382.

-----; -----y ----- . 1959b. Leaf analysis as a guide to nitrogen fertilization of avocado. California Avocado Soc. Yearbook 43: 94-95.

----- ; LABANAUSKAS, C. y BITTERS, P. 1962. The influence of certain rootstocks on the concentration of Boron, Iron, Manganese, and other elements in lemons leaves, and on boron toxicity symptoms. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 80: 285-290.

----- y JONES, W. 1964. Avocado nutrition in California. Proc. Florida State Hort. Soc. 77: 401-405.

----- y ----- . 1966. Avocado and Mango nutrition. en: Childers, N.P. ed. Nutrition of fruits crops. 2ed. New Jersey, pp: 651-684.

EMERT, P. 1959. Chemical analysis of tissue as a means of determining nutrient requirements of deciduous fruit plants. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 73: 521-547.

FAUST, M. 1979. Evolution of fruit nutrition during the 20th century. HortScience 14(3): 321-325.

FLAMM, M.G. 1970. Estado de nutrición nitrogenada de 30 huertos de Palto (Persea americana Mill) var. Fuerte,

en el Departamento de Quillota. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía Universidad Católica de Valparaíso. Quillota. 41 p.

GAUCH, H. 1973. Inorganic plant nutrition. Maryland, Dowden y Ross. 488p.

GARDIAZABAL, F. y ROSENBERG, G. 1986. El cultivo del palto Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 166 p.

y f 1987. El cultivo de los cítricos. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 166 p.

GOODALL, G. ; EMBLETON, T. y PLATT, R.G. 1965. Avocado fertilization. RRV. California Agr. Ext. Ser. Leaflet 24.

HEWITT, E.J. 1963. The esencial nutrients elements: requeriraents and interactions in plants. en: Steward, P. C. ed. Plant physiology. Academic Press, New York 3: 137.

HUMBER, R. 1969. Potassium in relation with food production.  
HorScience 4(1): 35-36.

KENWORTHY y MARTIN. 1966. Mineral contents of fruits plants.  
en: Childers, N.F. ed. Nutrition of fruits crops. 2ed.  
New Jersey pp: 813-870.

LA RUÉ, J. y GERDTS, M. 1983. El cultivo del ciruelo en California. Fundación Chile. Public. Tec. N°3. 24p.

LEHNINGER, A. 1983. Bioquímica. 2ed. Barcelona, Omega.  
1117 p.

LYNCH, S.; GOLDWEBER, S. y RYCH, C. 1954. Some effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield, tree growth and leaf analysis of avocados. Proc. Florida State Hort. Soc. 69: 289-292.

-----y ----- , 1956. Some effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield, tree growth and leaf analysis of avocados. Proc. Florida State Hort. Soc. 67: 220-223.

MACCHIAVELLO, C. 1970. Prospección nutricional en 25 huertos de Palto var. Fuerte en la comuna de La Cruz. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía Universidad Católica de Valparaíso, Quillota. 58 p.

PIONEER, 1986. El cultivo del maiz en Chile. Pioneer Chile Ltda. 85 p.

POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE, 1987. Potassium for agriculture. Armstrong, D. ed. 71(4): 4-5.

RAZETO, B. 1985. Deficiencia de magnesio en frutales. en: Aconex 11: 15.

----- . 1986. Deficiencia de zinc en frutales, en: Aconex 13: 22-24.

ROACH, F. y BOULD, C. 1963. An experiment with Strawberries on the effect and time of application of nitrogenous fertilizers. Exp. Hort. 8: 62-70.

RUSSEL, W. 1961. Soil conditions and plant growth. 9ed. Jhon Wiley and Sons, New York. 688 p.

- SHEAR, C. y FAUST, M. 1970. Calcium transport in apples. Plant. Physiol. 45: 670-674.
- SMITH, P. 1966. Leaf analysis of citrus, en: Childers, N.F. ed. Nutrition of fruits crops. 2ed. New Jersey pp: 208-228.
- TROCHE, S. y GRAS, R. 1964. Sol et fertilisation en arboriculture frutiére. Paris, Perrin. 240 p.
- ULRICH, A. y OHKI, K. 1966. Potassium, en: Chapman, H.D. ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci., Univ. California, Berkeley, pp: 362-393.
- URIU, K. 1978. Soil and plant analysis and symptomatology for diagnosis of mineral deficiencies and toxicities. en: Micke, W. y Kester, D. eds. Almond orchard management. U. Calif. Davis, pp: 89-96.
- WEINBAUM, S. 1978. Carbohydrate and nitrogen assimilation and utilization in the almond, en: Micke, W. y Kester, D. eds. Almond orchard management. U. Calif. Davis, pp: 98-110.

WYLIE, A. 1971. Diagnosis del estado nutricional de los frutales (Análisis Foliar). El Campesino 102(1): 44-61.