

## Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color

NIETO-CERVANTES, Julio César†\*, CATZIM-PAT, Oscar David, TORRES-OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier

*Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto Tecnológico de Celaya*

Recibido 24 de Julio, 2017; Aceptado 19 de Septiembre, 2017

### Resumen

En este trabajo se presenta un sistema para la detección de falta de nutrientes en hojas de árbol de limón. El objetivo es que este sistema sirva como herramienta automatizada para orientar a los agricultores sobre la cantidad de fertilizante que debe de aplicar en ciertas áreas. Las imágenes serán filtradas para la fácil detección de falta de nutrientes, así como el daño que se puede generar a partir de ello como es el cambio de pigmentación de la hoja y menor producción de fruto, y todo esto influye directamente al productor. Se pretende que con la información proporcionada por el sistema se reduzca el uso de fertilizante y con esto el daño al medio ambiente sea menor.

**Detección de clorosis, Modelo de color HSV, segmentación de imágenes**

### Abstract

In this paper, a system for the detection of nutrient deficiency in lemon tree leaves is presented. The goal is for this system to serve as an automated tool to guide farmers about the amount of fertilizer they should apply in certain areas. The images will be filtered for the easy detection of lack of nutrients, as well as the damage that can be generated from it as it is the change of leaf pigmentation and less fruit production, and all this directly influences the producer. It is intended that the information provided by the system reduces the use of fertilizer and with this the damage to the environment is lower.

**Chlorosis detection, HSV color model, image segmentation**

**Citación:** NIETO-CERVANTES, Julio César, CATZIM-PAT, Oscar David, TORRES-OVANDO, Rafael Alberto, DÍAZ-CARMONA, José Javier. Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-3:10-18

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: javier.diaz@itcelaya.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Las investigaciones sobre la adaptación de las plantas a diferentes niveles de disponibilidad de nutrientes son de gran importancia dada la gran diversidad de tipos de suelos de nuestro país y por el alto costo de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos. La clorosis se inicia en las hojas más viejas, puesto que el N es translocado a los tejidos jóvenes que están crecimiento activo; a medida que la deficiencia se agudiza, este síntoma se extiende a las hojas intermedias y por último a toda la planta. La clorosis de las plantas es un problema que condiciona el desarrollo de los cultivos en suelos elevando su pH o calcáreos y la falta de hierro (Fe) ha sido reconocida desde 1844 (Loué, 1998) y aun cuando fue la primera deficiencia nutrimental en plantas. El síntoma característico es una clorosis internerval que afecta más a las hojas jóvenes que a las maduras (Meguel, 1995) afecta prácticamente a todas las especies y vegetales, herbáceas y leñosas, agrícolas y forestales, silvestres o cultivadas. Se ha dicho que la deficiencia se produce por una baja disponibilidad de Fe. La deficiencia de hierro limita el desarrollo de la planta y en casos severos causa la muerte de la misma. La concentración de hierro en las raíces normalmente es superior a la de las hojas, lo que refleja en cierta medida la disponibilidad de hierro en el suelo.

Rodríguez et al. (1998) señalan que las acidificaciones de las soluciones fertilizantes aplicadas sobre los suelos mediante el riego, permitirían mejorar la solubilidad de muchos compuestos que contienen hierro (Fe), cinc (Zn), manganeso (Mn), calcio (Ca) y fósforo. (P) en suelos calcáreos. Otros autores dudan de la efectividad de éstas en campo (Miyamoto et al., 1975; Imas; 2000), indicando que en suelos con altos niveles de carbonatos se requieren de elevadas cantidades de ácido, volviendo impracticable la medida.

A través del tiempo, diversos autores han representado evidencias que indican la relación de algunas propiedades del suelo con la incidencia de clorosis en distintas especies vegetales.

Thorne et al. (1950), para explicar la relación entre los hechos observados y la ocurrencia de la clorosis en suelos calcimórficos, discutieron las siguientes hipótesis:

Alto pH y cantidad excesiva de carbonatos hacen que el hierro del suelo esté menos disponible para las plantas.

Alta humedad del suelo, pobre aireación y temperaturas extremas del ambiente, perturban el metabolismo vegetal, de tal modo que el hierro es inactivo.

Los fosfatos pueden precipitar el hierro, ya sea en el suelo o en el tejido vegetal.

Alto contenido de magnesio en el suelo o en la planta pueden llevar al hierro a un estado de oxidado.

La deficiencia del hierro y otros micronutrientes se propician cuando el pH es superior a 7.8, y hay un alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  y un bajo nivel de materia orgánica, según (Abadia, 1952).

La agricultura moderna se ha basado en el uso de agroquímicos para el mejoramiento de producción como lo son los fertilizantes. El uso desmedido de estos productos químicos está generando altos niveles de contaminación afectando la salud de los consumidores (Cano et al., 2004). En la agricultura tradicional el control seguro y efectivo de la producción los cultivos requieren tecnología específica, avanzada y de bajo costo para los productores.

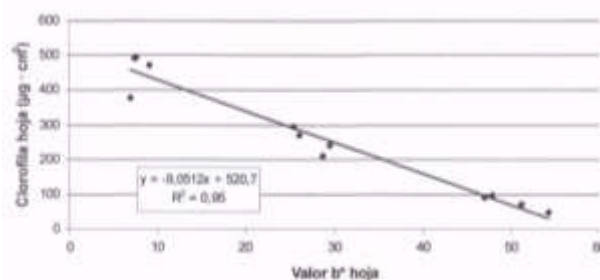
Esta investigación ofrece una solución a la problemática planteada, donde se explica el uso desmedido de fertilizantes, el cual requiere de un sistema entrenado que permita el procesamiento de imágenes para, en base a criterios establecidos por un experto en el área de la agricultura, los cuales presentan año con año problemas en la falta de nutrientes como el Hierro (Fe) y el Fosforo (P).

### Trabajos relacionados

Clorosis férrica y su relación con el nivel de clorofila y hierro en diferentes órganos en plato propuesto por (Fernandez, 2003) el color de las hojas medido con colorímetro triestímulo, en sus tres valores ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), presentó diferencias significativas entre los tres grupos de árboles (véase en el cuadro 1). Sin embargo,  $b^*$  fue aquella con mayores diferencias entre cada grupo, lo cual permite afirmar que, sería la más adecuada para determinar color de follaje en árboles con clorosis férrica. Esto quedó corroborado con la altísima correlación ( $R^2 = 0,95$ ; véase en la figura 1), entre el valor de  $b^*$  de la hoja y la concentración de clorofila en la misma, contra  $R^2 = 0,90$  y  $0,19$  para  $L^*$  y  $a^*$  respectivamente. Un  $L^*$  mayor indica un incremento en el color blanco, un  $a^*$  más negativo indica mayor presencia de color verde y un  $b^*$  mayor tendencia hacia el amarillo (Voss, 1992; Howard et al., 1996). La asociación entre color y clorofila permite validar lo obtenido por Peryea y Kammereck (1997) quienes, utilizando un equipo SPAD en peral, señalan que la determinación indirecta del nivel de clorofila en la hoja, por colorimetría, es una buena opción para cuantificar la clorosis férrica. Sin embargo, hay otros nutrientes (nitrógeno, magnesio, manganeso), que también participan en la síntesis de clorofila, lo cual resta confiabilidad a esta opción de diagnóstico.

Color			
Clorosis follaje	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Ausente	32,5 a	-6,6 a	7,8 a
Mediana	42,5 b	-15,5 c	27,4 b
Intensa	61,5 c	-11,0 b	50,0 c

**Tabla 1** Color de las hojas según el grado de clorosis en árboles de plato



**Figura 1** Relación en el valor  $b^*$  de color y la concentración de clorofila en la hoja de plato

La concentración de hierro en cada tejido (véase en el cuadro 2). Como se puede observar, sólo el fruto es el tejido que acusó diferencias significativas, entre los árboles sanos y aquellos con clorosis férrica. La concentración de hierro en las hojas no presentó una buena relación con la concentración de clorofila en la misma ( $R^2 = 0,22$ ). Este resultado confirma lo obtenido en diversas investigaciones en distintas especies frutales (Ruiz et al., 1980; Kovanci, citado por Terry y Abadía, 1986; Guzmán et al., citado por Lucena 1997).

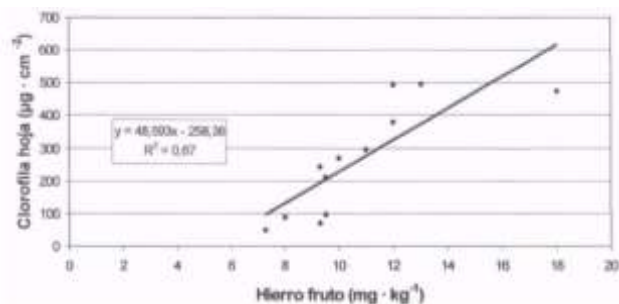
Tampoco la inflorescencia apareció como un tejido adecuado para indicar clorosis férrica ( $R^2 = 0,02$ ). Esto no coincide con los resultados obtenidos por Sanz et al. (1997), en duraznero en España, quienes reportaron una alta correlación entre las concentraciones de hierro en la flor y el nivel de clorofila en las hojas. En cambio, coincide con lo obtenido por los mismos autores en Italia, donde no obtuvieron tal correlación, en duraznero.

El pedúnculo tampoco presentó una buena correlación entre su concentración de hierro y el nivel de clorofila en la hoja ( $R^2 = 0,15$ ), resultado que lo descarta como un tejido indicador de la clorosis férrica. En cambio, la concentración de hierro en la pulpa del fruto presentó una alta correlación ( $R^2 = 0,67$ ) con la concentración de clorofila en la hoja (Figura 2). Una posible explicación de este resultado sería que, estando el hierro en menor concentración en el fruto que en los otros tejidos analizados, una alta proporción del mismo corresponda al hierro activo, que es el que participa en la síntesis de clorofila. Este resultado que es inédito, permite visualizar al fruto como un órgano promisorio para el diagnóstico de la deficiencia de hierro, al menos en el palto. De esta manera se abre la posibilidad de utilizar el análisis químico de hierro total, que es de fácil y económica aplicación, y que, aunque es de uso rutinario en los laboratorios, no funciona en el análisis foliar.

Clorosis Follaje	Hoja	Inflorescencia	Pedúnculo	Fruta
Ausente	120,0	53,2 mg·kg <sup>-1</sup>	79,1	13,8 a
Mediana	108,5	50,0	76,3	10,0 b
Intensa	98,4	53,2	97,2	8,5 b

**Tabla 2** Concentración de hierro en distintos tejidos, según el grado de clorosis férrica en árboles de palto. Base peso seco

Según las cifras (véase en la figura 2), el nivel crítico de hierro en la pulpa del fruto se ubicaría entre 10 y 13,8 mg · kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, se requiere de análisis adicional en un mayor número de árboles y en diferentes huertos afectados por clorosis férrica, para fijar una cifra definitiva.



**Figura 2** Relación entre la concentración de hierro en la pulpa del fruto y el nivel de clorofila en la hoja de palto

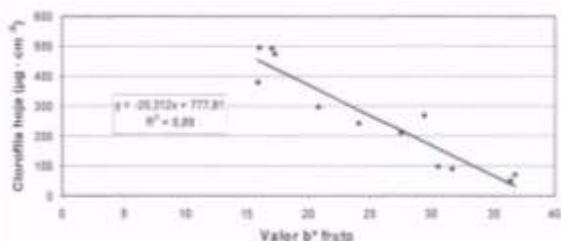
Color y contenido de clorofila de los frutos: el color y la concentración de clorofila en los frutos también estuvieron altamente relacionados con el grado de clorosis férrica en el follaje. La piel del fruto presentó una coloración verde oscura en los árboles normales, verde claro en los intermedios y verde amarillenta en los afectados por clorosis severa, con diferencias significativas entre ellos (véase en el cuadro 3). Además, el color del fruto se presentó muy relacionado con el contenido de clorofila en la hoja, con un  $R^2 = 0,87$ , para el valor  $L^*$ ; 0,83 para  $a^*$  y 0,89 para  $b^*$  (véase en la figura 3). Similar grado relación ( $R^2 = 0,74$ ) se obtuvo entre el nivel de clorofila de la hoja y del fruto (véase en la figura 4).

También se encontró una alta relación entre el color del fruto y la concentración de clorofila en el mismo, con valores  $R^2 = 0,78$  para  $L^*$ ; 0,62 para  $a^*$  y 0,77 para  $b^*$  (Figura 5), siendo en este caso los valores  $L^*$  y  $b^*$  aquellas con mayor grado de asociación con la clorofila.

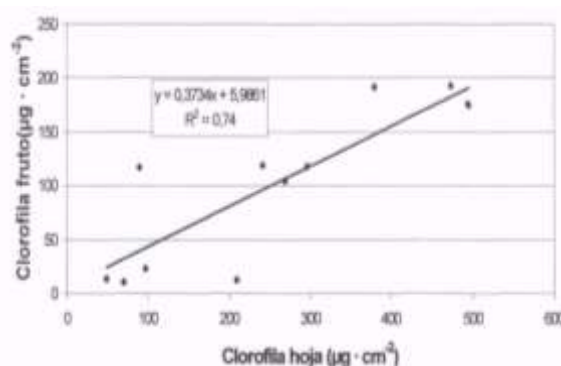
Estos resultados, junto con confirmar lo señalado por Lahav y Whiley (2002), en el sentido que la clorosis férrica afecta tanto al color del follaje como al de los frutos en el palto, permiten establecer al fruto como un certero indicador del grado de clorosis férrica en el árbol, no sólo como ya se vio, por su contenido de hierro, sino que, además, por su color y contenido de clorofila.

Clorosis follaje	L*	a*	b*
Ausente	36,3 a	-11,0 a	16,6 a
Mediana	42,6 b	-12,9 b	26,5 b
Intensa	50,7 c	-14,9 c	33,8 c

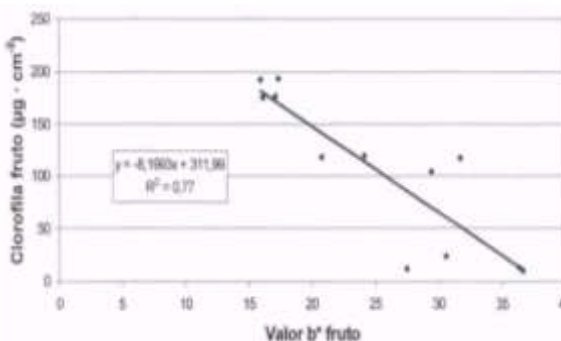
**Tabla 3** Color de la piel del fruto según el grado de clorosis férrica del follaje en árboles de palto



**Figura 3** Relación entre el valor b\* de color en el fruto y la concentración de clorofila en la hoja del palto



**Figura 4** Relación entre la concentración de clorofila en la hoja y en la piel del fruto de palto



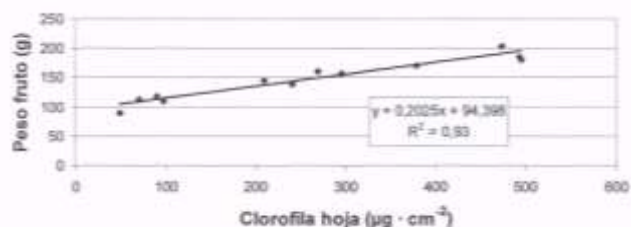
**Figura 5** Relación entre el valor b\* de color y el contenido de clorofila en el fruto de palto

En el cuadro 4 se puede observar que la clorosis férrica influyó negativamente en el peso del fruto y en su contenido de aceite.

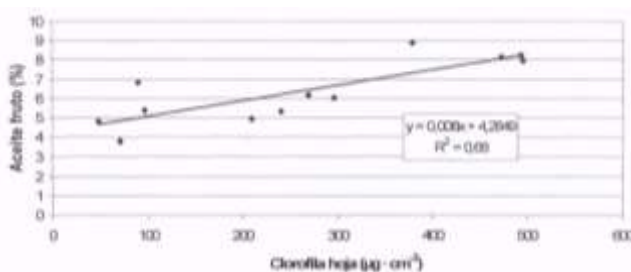
Se encontró un  $R^2 = 0,93$  entre el nivel de clorofila de la hoja y el peso del fruto (véase en la figura 6) y un  $R^2 = 0,68$  entre la clorofila de la hoja y la concentración de aceite en el fruto (véase en la figura 7). Cabe consignar, que la clorosis férrica no habría alterado la madurez del fruto, pues éste desarrolló su color negro en la piel en igual fecha en todos los árboles (fines de octubre). La disminución en el tamaño del fruto como consecuencia de la clorosis férrica confirma, en este caso en palto, lo obtenido por Razeto y Rojas (1977) en duraznero, mientras que la disminución en el contenido de aceite coincide con lo observado por Lee (1981), en alto. La menor actividad fotosintética de los árboles con follaje clorótico sería la causa de estos resultados.

Clorosis follaje	Peso fruto (g)	% aceite pulpa
Ausente	185,7 a	8,3 a
Mediana	150,3	5,6 a
Intensa	107,3 c	5,2 b

**Tabla 4** Peso del fruto y concentración de aceite, según el grado de clorosis férrica árboles de palto



**Figura 6** Relación entre el contenido de clorofila de la hoja y el peso del fruto en palto

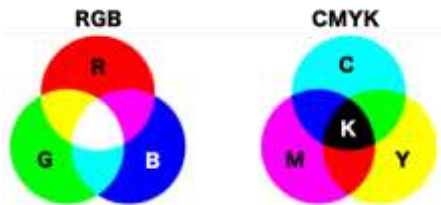


**Figura 7** Relación entre el nivel de clorofila en la hoja y el contenido de aceite en el fruto de palto

## Método

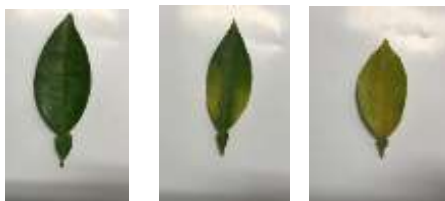
La imagen digital es el sucesor de la fotografía tradicional gracias a los avances de la tecnología. En la imagen digital se pueden ver dos hechos, la originalidad de la imagen cuando es tomada, y el resultado de compresiones, optimizaciones, filtrados y otros procesos (Valdivia, 2009).

Una imagen puede ser considerada como una función  $f(x, y)$  la cual es una matriz con índices de filas y columnas los cuales representan un punto en la imagen y su valor identifica el nivel de color en ese punto. Los elementos de estas matrices digitales son los píxeles.



**Figura 8** Modelo del color RGB y CMYK

La metodología propuesta en este artículo, está compuesta por diferentes etapas que llevan al objetivo que es la detección de clorosis en las hojas del árbol de limón (citrus limón). Para ello es necesario conocer los síntomas con lo que es posible detectar esta infección. Los síntomas presentados dependen principalmente del agente patógeno que este atacando la planta (Agrios, 2005). Para el presente trabajo se decidió utilizar tres hojas de limón la cual fue afectada por déficit de nutrientes como se muestra en la figura 9.



**Figura 9** Fotos de las tres hojas de limón

En la figura 10 se muestra la hoja de limón sana, es decir sin síntomas de clorosis, con el color del tejido ideal para una hoja. Utilizando la app de Matlab



**Figura 10** Hoja con color de tejido ideal.

La figura 11 muestra como se eliminó la zona que no estaba dentro del rango que se estableció, en un color verde ideal para que se considere que la hoja está sana dando a entender que ya comienza con algún síntoma de enfermedad patógena.



**Figura 11** Hoja de limón con principios de clorosis

Como se observa en la figura 12, es la hoja de limón que presenta un estado grave de clorosis ya que su pigmentación no es la adecuada para el tipo de hoja

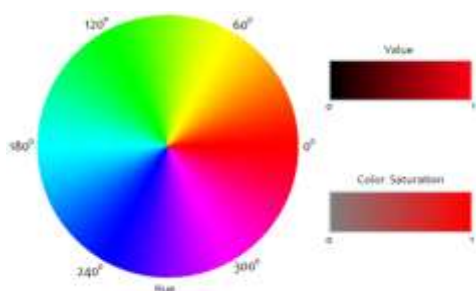


**Figura 12** Hoja de limón con síntomas de clorosis en su totalidad

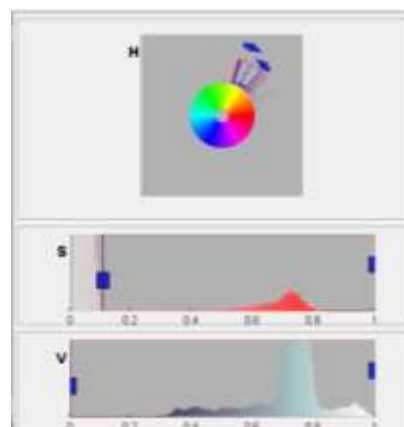
### Modelo HSV y HSL

Estos modelos incluyen otros dos parámetros adicionales al matiz o croma para obtener el color, que son la saturación (en ambos) y el valor (en HSV) o la luminosidad o tono (en HSL). De ahí sus siglas: HSL (H – hue o matiz, S – saturation o saturación, L – luminosity o luminosidad/tono), HSV (idem excepto V de value o valor).

La diferencia entre HSV y HSL es que en HSV la saturación va del color puro al blanco, y en HSL la saturación va del color puro al gris medio, y el tono, en HSV va desde el negro al color, y en HSL va desde el negro al blanco. En la figura 13 se muestra el modelo HSV y en la figura 14 se muestra los rangos de HSV para la detección del color amarillo en las hojas.



**Figura 13** Modelo HSV



**Figura 14** Modelo HSV sugerido

De la misma manera se implementó el proceso en unas hojas del tipo palma para ver que se obtuvieran los mismos resultados y como se muestra en la figura 15, se observan los mismos resultados que las hojas de limón.



**Figura 15** Fotografía de hoja de tipo palmeada sana (con una luminocidad de 213)

Para poder observar la cantidad de luz al momento de tomar las fotografías se necesitó un luxómetro. En la figura 16 se ve como la hoja muestra un estado avanzado de clorosis ya que el área de follaje de color amarillo supera al del color verde.



**Figura 16** Hoja palmeada con gran cantidad de síntomas de clorosis

En la figura 17, se muestra la hoja totalmente afectada por los síntomas de la clorosis y se puede ver como se repinta de negro el área afectada.



**Figura 17** Hoja totalmente afectada por la clorosis

Como se puede notar, en el trabajo descrito se logra observar que este sistema implementa diversas herramientas para lograr identificar problemas o enfermedades en la vegetación en específico utilizando la pigmentación de las hojas, lo cual sirve para orientar a los agricultores sobre el cuidado que debería tener en cuanto a la vegetación en la cual trabaja, además de identificar el área afectada para así poder aplicar las medidas necesarias para salvarla o solo cuidarla. El sistema filtra las imágenes para así obtener una detección de falta de nutrientes y así detectar el daño que se genera ya que esto influye directamente al producto y al productor. En este trabajo se implementa una técnica de inteligencia artificial, la cual es la visión artificial para que el sistema sugiera al usuario un tratamiento óptimo para atacar el problema. Como trabajo futuro se pretende implementarlo en una cosecha real para que con la información proporcionada por el sistema se reduzca el uso de fertilizante y con esto el daño al medio ambiente sea menor.

## References

Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues - iron chlorosis on calcareous soil. *Nutrition in Soils and Plants*. 389-397.

Chaney R L (1988) Recent progress and needed research in plant Fe nutrition. *J. Plant Nut.* 11(6-11):1589-1603.

Loué A (1988) *Los Micronutrientos en Agricultura*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid España. pp:13-82.

Mengel, K., M. Breining, and W. Bübl. 1984. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soils. *Plant and Soil* 81: 333 – 344.

Rodríguez, V., M. Beltrán, J. Lerma, y M. Licón. 1998. Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos. *Terra* 16 (2): 149 – 161.

Fernandez, J. V.(2003)."Clorosis férrica" y su relación con el nivel de clorofila y hierro en diferentes órganos en plato. *Persea americana Mill*, 22.

GRANGER, C. 2001. Análisis químico de flores y frutos para el diagnóstico de la nutrición mineral en palto (*Persea americana Mill.*). Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 16p.

HOWARD, L; BRASWELL, D. and ASLAGE, J. 1996. Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science* 6 (2): 327 - 330.

LUCENA, J. 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: a critical review. *Acta Horticulturae* 448: 179 -192.

RAZETO, B. and ROJAS, S. 1977. Tratamientos correctivos de la clorosis férrica en duraznero. *Investigación Agrícola (Chile)* 3 (1): 17 - 22.



RAZETO, B. 1993. La nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y excesos. SOQUIMICH, Chile. 105p.

VOSS, D. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society color chart. Hort. Sci. 27 (12): 1252 -1260.