

ASPECTOS FENOLOGICOS Y VARIACION ESTACIONAL DE N, P Y K FOLIAR PARA *Macadamia integrifolia*, CLON 508, EN ATIRRO, JIMENEZ, COSTA RICA^{1/*}

Floria Bertsch^{2/**}, Ana Cecilia Jiménez^{***}, Joaquín Gabriel^{***}, Eugenia Hidalgo^{***}

RESUMEN

Para la zona de Atirro, en Cartago, como punto representativo de una de las primeras regiones utilizadas para la siembra de *Macadamia integrifolia* en Costa Rica, se presenta y discute el comportamiento fenológico del clon 508. En un año se presentan 2 picos de crecimiento vegetativo, seguidos por 2 picos de floración 2 a 3 meses después, y 2 picos de producción, 7 a 8 meses después de cada floración. También, con base en la información de análisis foliares mensuales, generada por una serie de experimentos nutricionales realizados en esa zona entre marzo de 1989 y octubre de 1993, se confeccionaron las curvas de variación estacional de la concentración de N, P y K en el tejido foliar del cultivo. Los valores de concentración foliar más frecuentes a lo largo del año, fueron: 1.4% para N, 0.07% para P y 0.6% para K, los cuales, como coinciden con los niveles críticos preestablecidos en la literatura, pueden usarse como buenos indicadores del estado nutricional de una plantación de macadamia. La forma más segura de extrapolar la información de estas curvas de variación estacional foliar, es asociando las fluctuaciones de los nutrimentos

ABSTRACT

Phenological aspects and seasonal variation in foliar N, P and K for *Macadamia integrifolia*, clon 508, at Atirro, Costa Rica. The phenology of *Macadamia integrifolia* clon 508, as it occurred in the Atirro region (representative of the earliest plantings of this crop in Costa Rica), is described. In a year, there are 2 vegetative growth peaks, 2 flowering peaks 2-3 months later, and 2 peaks of harvest, 7-8 months after each flowering. Also, seasonal variation curves for N, P and K in leaf tissue were calculated, based upon information from monthly foliar analysis generated by a series of nutrition experiments performed in that region from March 1989 to October 1993. The most frequent foliar concentration values along the year were: 1.4% N; 0.07% P; and 0.6% K, which agree with critical levels previously established in the literature, and thus can be used as indicators of the nutritional condition of local macadamia plantations. The safest way to extrapolate information from such foliar seasonal variation curves is to associate nutrient fluctuations directly with growth phenomena. In general, during vegetative growth percent

1/ Recibido para publicación el 21 de agosto de 1997.

2/ Autor para correspondencia.

* Información generada a partir de las investigaciones realizadas durante los años 1989-1993, por el Programa de Macadamia, impulsado por CINDE, ICAFE/UCR y Macadamia de Costa Rica S.A.

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

*** CINDE-División Agrícola, Investigación, Programa de Macadamia. Todos estos autores trabajaron en CINDE para el Programa de Macadamia y contribuyeron en forma muy intensa en alguna de las etapas de este proyecto, sin embargo actualmente laboran para otras empresas.

directamente con los fenómenos de crecimiento. En términos generales, durante el crecimiento vegetativo aumentan los % de N y K, en prefloración disminuye el % de K, durante la posfloración disminuye el % de N, durante la cosecha disminuye el % de K y al final de la cosecha, baja el % de N. El % de P se mantiene más o menos constante en el tejido foliar a lo largo del año. Las mejores épocas de muestreo son aquellas en las que no se presentan fenómenos de crecimiento demasiado acentuados o las que combinan diferentes efectos que promedian y estabilizan el comportamiento de los nutrimentos. En esta zona esos meses fueron alrededor de mayo y octubre.

INTRODUCCION

La macadamia, como nuez fina originaria de Australia (Stephenson y Trochoulis 1994, es y ha sido desde el siglo pasado (Dierberger y Netto 1985) ampliamente cultivada en Australia, Hawaii y California.

En Costa Rica el cultivo se introdujo aproximadamente en 1980 en respuesta a la necesidad de diversificar las plantaciones de café, de ahí que antes de esa fecha no se contara con experiencia local alguna sobre el cultivo.

El conocimiento de la fenología de un cultivo, esto es, la secuencia de etapas y las diferentes manifestaciones de éstas que ocurren a lo largo del ciclo de vida del cultivo, es, indudablemente, la primera herramienta indispensable para efectuar un manejo adecuado de cualquier plantación.

Por otro lado, en cultivos perennes el análisis foliar representa la herramienta más útil para el diagnóstico nutricional; sin embargo, las fluctuaciones fisiológicas que sufre el cultivo a lo largo del año implican variaciones en los contenidos nutricionales que son fundamentales de considerar para realizar una adecuada interpretación de los análisis. Hasta hace unos pocos años, las curvas fenológicas para la macadamia, usadas en el país como referencia (Figura 1), así como la variación estacional de los nutrimentos en el tejido foliar y los niveles críticos foliares específicos

N and K increase; at pre-bloom, K decreases; during post-bloom, N decreases; during harvest, K decreases; and towards harvest end, N decreases. P is approximately constant along the year. The best sampling times are those when growth phenomena are not too intense, and/or when different effects combine to stabilize nutrient contents toward their average. In this region, May and October.

para el cultivo provenían de adaptaciones realizadas a partir de información australiana (Bee et al. 1978, Cull y Stock 1981, Stephenson et al. 1986a, 1986b, 1986c, 1986d, Stephenson 1987), hawaiana (Cooil 1966, Hamilton et al. 1983, Matsumoto et al. 1966) y californiana (Fox 1975, Jones y Embleton 1970, Baigent 1981, Price 1981, Russell y Russell 1987). En esas latitudes, la presencia de estacionalidad induce comportamientos particulares en la fenología del cultivo y, por lo tanto, en la distribución y comportamiento de los nutrimentos durante el año, de ahí que la ejecución de este estudio se consideró extremadamente útil en el afán de contar con una verificación local.

Actualmente, la experiencia empírica de productores y técnicos relacionados con el cultivo se ha acrecentado enormemente y hay claras evidencias que establecen también, marcadas diferencias en el comportamiento fenológico que presenta la macadamia entre zonas productoras aún dentro del propio país (Pérez, H. 1994. Comunicación personal), razón por la cual, los dos objetivos específicos que persigue este documento, para la zona de Atirro en Cartago, como punto representativo de una de las primeras utilizadas para la siembra de macadamia, son: en primer lugar, presentar y discutir el comportamiento fenológico del clon 508 de macadamia en dicho lugar, como base para establecer comparaciones futuras con el comportamiento en otras

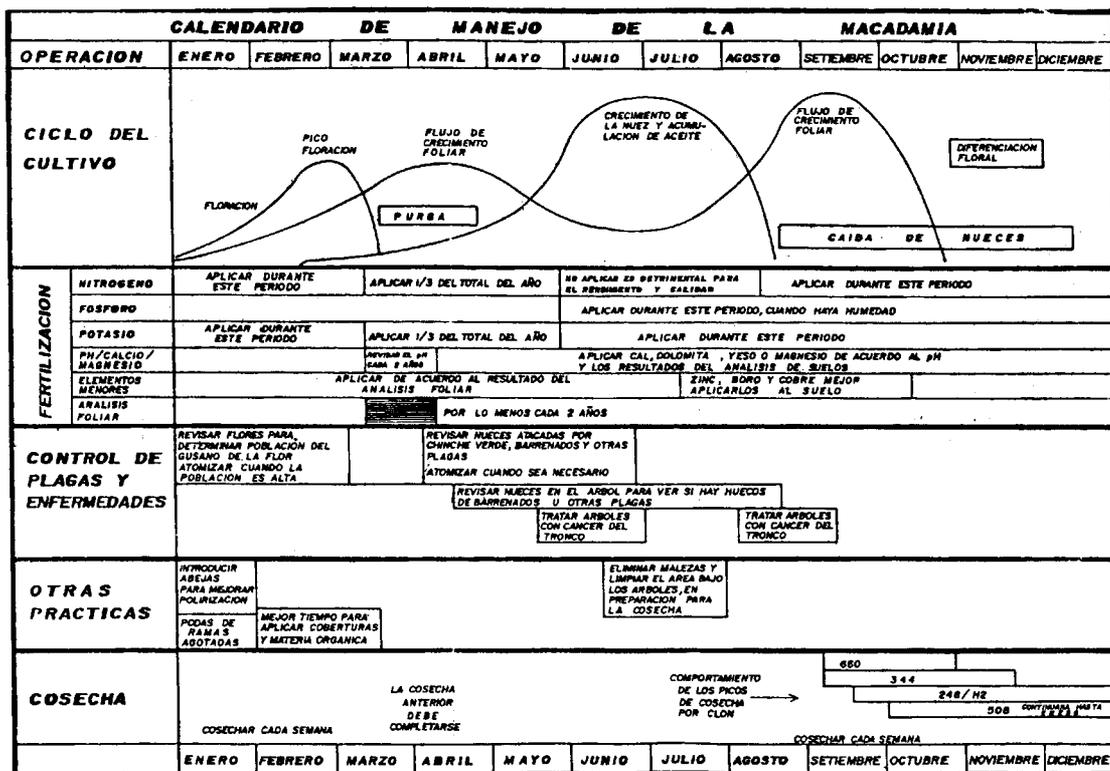


Fig. 1 Calendario de manejo de la macadamia tomado de la literatura y diseminado ampliamente en Costa Rica (O'Hare et al. 1996).

zonas, y en segundo, confeccionar las curvas promedio de variación estacional de N, P y K con el propósito de contribuir en el mejoramiento de la interpretación de los resultados de análisis foliares e identificar las mejores épocas de muestreo para el cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Sitio de la investigación y material evaluado

La información presentada en este artículo se obtuvo como parte complementaria de un estudio sobre nutrición llevado a cabo por el Programa de Investigación en macadamia, con el respaldo de CINDE, ICAFE/UCR y Macadamia de Costa Rica S.A. entre marzo de 1989 y octubre de 1993, en fincas de la empresa Macadamia de Costa Rica S.A. ubicadas en Atirro, cantón de Jiménez, Cartago.

Durante ese tiempo y sobre algunos de los tratamientos establecidos para evaluar la nutrición, se hicieron observaciones sistemáticas sobre el comportamiento fenológico y la variación estacional de nutrimentos de la macadamia a lo largo del año, algunas de las cuales fueron las que se seleccionaron para elaborar este artículo.

El estudio nutricional de fondo, cuyos resultados no se presentan en este trabajo, consistió de 3 experimentos independientes instalados para evaluar dosis de N, P y K. En cada uno de estos ensayos se probaron niveles de un solo nutrimento, mientras los otros 2 fueron suministrados a través de una fertilización base.

El material evaluado fue el clon 508 en edad productiva, con 8 años al inicio del experimento (marzo de 1989), y sembrado a una distancia de 6 x 6 m.

La altitud de esta zona es de 710 msnm y presenta un relieve ondulado con pendientes entre 15 y 30% y un drenaje adecuado.

Aspectos fenológicos

La información fenológica se recolectó en forma mensual durante todo el tiempo que los experimentos nutricionales estuvieron en el campo, sin embargo, como se verá más adelante, para la discusión de este artículo se seleccionaron aquellos períodos en los que la información mostró mayor consistencia.

La cuantificación de las características fenológicas se basó en el método propuesto por Fournier (1974, 1976), el cual utiliza una escala de 0 a 4 que hace referencia a la presencia porcentual del fenómeno en el árbol. Los valores de la escala corresponden a:

- 0 = ausencia del fenómeno
- 1 = presencia del fenómeno con magnitud de 1-25%
- 2 = presencia del fenómeno con magnitud de 26-50%
- 3 = presencia del fenómeno con magnitud de 51-75%
- 4 = presencia del fenómeno con magnitud de 76-100%

Al realizar el diseño de los experimentos se estableció una considerable lista de variables fenológicas a evaluar sin embargo, la medición y análisis de todas ellas no fue igualmente exitosa. Como otro objetivo secundario de este artículo es brindar opciones metodológicas para futuras investigaciones en fenología, a pesar de que para la discusión de la macadamia apenas se usan 3 ó 4 de estas variables, a continuación se señalan todas las que fueron medidas, para dar sustento a una discusión que valore las ventajas y dificultades en el uso de cada una de ellas.

Las variables evaluadas fueron:

- a) Crecimiento vegetativo: % de crecimiento nuevo observado en el árbol.
- b) Floración: % de botones florales presentes y % de floración abierta.

- c) Producción: % de frutos verdes y de frutos maduros presentes en el árbol, % de frutos maduros encontrados en el suelo y cosecha.

La toma de datos de producción o cosecha, expresados como kg de nuez en cáscara/árbol y kg de nuez en concha/árbol se realizó cada 15 días y fue efectuado por el personal de la finca que habitualmente desarrolla ese tipo de labor.

Variación estacional de N, P y K foliar

Los datos utilizados para hacer las curvas de variación estacional provienen, en algunas casos, de las concentraciones foliares de todos los tratamientos de los 3 experimentos nutricionales que existían en el campo en esos años, mientras que en otras se utilizó el "tratamiento intermedio" de cada experimento. El llamado tratamiento intermedio correspondió en los 3 casos, a aquel que probaba la dosis del elemento en estudio en la cantidad más cercana a la usada como base en los otros 2 experimentos (75-100, 200-250 y 150 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente), de ahí que se decidió considerar este tratamiento como una situación repetida en 3 condiciones diferentes.

Cada unidad experimental constó de 3 árboles, de los cuales se tomó mensualmente una muestra compuesta formada por 30 hojas maduras de cada árbol, provenientes del segundo o tercer nudo del último brote fisiológicamente maduro en ramas sin crecimiento activo, seleccionadas aleatoriamente alrededor del árbol, a 1-2 m del suelo.

Los análisis foliares se realizaron en el Centro de Investigaciones Agronómicas, según las metodologías convencionales (Briceño y Pacheco, 1984): método Microkjeldhal para N, y digestión nitroperclórica para P y K, con determinación colorimétrica de P y absorción atómica para K.

Manejo general

El manejo del cultivo, salvo la fertilización, estuvo a cargo de la empresa.

Anualmente se practican podas de mantenimiento de la plantación, en las cuales se eliminan

las ramas con crecimiento atrofiado, traslapadas con otros árboles, agotadas y enfermas.

El control de malezas se realizó en forma manual y restringido a la rodaja de los árboles, con aplicaciones complementarias de paraquat solo o en mezcla con gesaprin 500 (1L + 1L/ha).

Ocasionalmente se utilizaron productos como Heptacloro para el combate del comején en tallos y raíces y Myrex, para el control de zompopas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aspectos fenológicos

Selección de variables. Durante el largo período en que los experimentos nutricionales estuvieron en el campo (1989-1993), existieron diferentes etapas y personas encargadas de realizar las evaluaciones fenológicas. Esta situación resulta muy factible que se presente en investigaciones de cultivos perennes que requieren de 3, 4 y hasta más años para brindar información fidedigna. De ahí, la búsqueda de evaluaciones fenológicas que cuantifiquen en la forma más objetiva posible la situación, resulta de vital importancia. En este caso concreto, al usarse principalmente una metodología de observación porcentual de los árboles, con una gran carga de criterio subjetivo, la primera observación de los resultados que salta a la vista es que resulta difícil compatibilizar los datos de todo el período. En todo momento está presente la influencia de la persona que efectuó la medición.

De 1989 a 1990, se realizaron los esfuerzos iniciales en la recolección de estas variables sin embargo, los datos correspondientes a esta etapa no se utilizaron. El volumen de datos que se recogió fue muy elevado pues se le llevó fenología en forma independiente a cada uno de los tratamientos nutricionales involucrados, sin embargo, eran datos de observación visual muy globales con una escala que no resultó congruente con las etapas posteriores. Además, con el argumento de que los datos de un año en un cultivo perenne son muy poco representativos los datos no fueron procesados y analizados de inmediato,

por lo que la información sufrió diversas transformaciones y transferencias de un equipo de computación a otro, lo que impidió compatibilizarla con el resto.

A partir de mayo de 1991 y hasta abril de 1992, es posible distinguir una etapa con una alta sistematización en la recolección de los datos lo que permitió realizar un análisis bastante detallado de la información.

Durante el resto de 1992 y 1993, fuertes restricciones presupuestarias dentro del proyecto obligaron a disminuir la frecuencia de las observaciones (cada 2 ó 3 meses), por lo que lo más relevante de esta etapa fue la validación parcial que efectuó sobre algunas observaciones de la etapa anterior.

En el Cuadro 1 se resumen datos de mayo de 1991 a octubre de 1993 para 6 de las variables fenológicas evaluadas. Los datos corresponden a un promedio de las observaciones realizadas sobre todos los tratamientos de cada uno de los experimentos de dosis de N, P y K, respectivamente.

En el Cuadro 2, con base en los promedios presentados en el Cuadro 1, se efectúa un estudio de la frecuencia con que las observaciones hechas para cada variable correspondieron a cada categoría porcentual (0=0%, 1=1-25%, 2=26-50%, 3=51-75%, 4=76-100% de presencia del fenómeno). Este procedimiento tuvo el objetivo de identificar aquellas variables que presentaron mayor sensibilidad ante la escala usada y descartar las que suministrasen muy poca información por permanecer constantes en una misma categoría de la escala.

Una variable que, medida a través de este método semicuantitativo de observación, presente más del 50% de sus observaciones ubicadas en una misma categoría, difícilmente permitirá establecer una tendencia de comportamiento clara. Tal es el caso extremo de la variable “% de Frutos Verdes Caídos” en la que en el 92% de las veces en que se realizaron observaciones, se señaló una abundancia entre 1 y 25% (categoría 1). De igual manera, la medición del “% de Frutos Maduros” no resultó útil como variable discriminante pues un 65% de sus observaciones promedio se ubicaron en la categoría de 50 a 75% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Frecuencia porcentual con que las variables observadas en macadamia se presentaron en cada categoría de la escala de evaluación fenológica.

	Bot	Flor	FV	FVC	FV	CV
Categoría 0%	0	0	0	10	0	5
Categoría 1-25%	45	40	45	90	5	60
Categoría 26-50%	40	35	30	0	15	20
Categoría 51-75%	15	25	25	0	65	15
Categoría 76-100%	0	0	0	0	15	0

Por la razón expuesta, estas 2 variables, pese a su importancia en el comportamiento fenológico del árbol de macadamia como indicadores de la magnitud de purga o caída prematura de frutos y de la duración del llenado, respectivamente, en este caso, fueron excluidas totalmente del análisis.

Es valioso, sin embargo, hacer estos comentarios, en el afán de promover el afinamiento de la metodología para futuras investigaciones en esta línea. Queda demostrado con esta experiencia que los estudios fenológicos deben practicarse sobre un menor número de unidades para poder efectuar sobre cada árbol mediciones o conteos más detallados, concretos y numéricos, que disminuyan la subjetividad de las observaciones porcentuales. Esto implica indudablemente una más rigurosa selección del material a medir y quizás una visualización del árbol por partes, en mitades o cuartos según su orientación. También, técnicas como marcar ramas, medir cm de crecimiento en brotes, contar el número de flores y frutos en ciertas secciones definidas del árbol, mitades o cuartos, por ejemplo, que sean extrapolables al árbol entero, etc., resultarán probablemente mejores alternativas para medir los cambios fenológicos de un cultivo que las observaciones porcentuales en muchos árboles.

Fenología de la macadamia en Atirro. A

pesar de las limitantes anteriores, otras 4 variables evaluadas, unidas a los datos de cosecha mostraron tendencias relevantes que permiten describir las principales características fenológicas del árbol de macadamia en la mencionada región.

En la Figura 2 se presentan los datos promedio del % de abundancia para el "Crecimiento

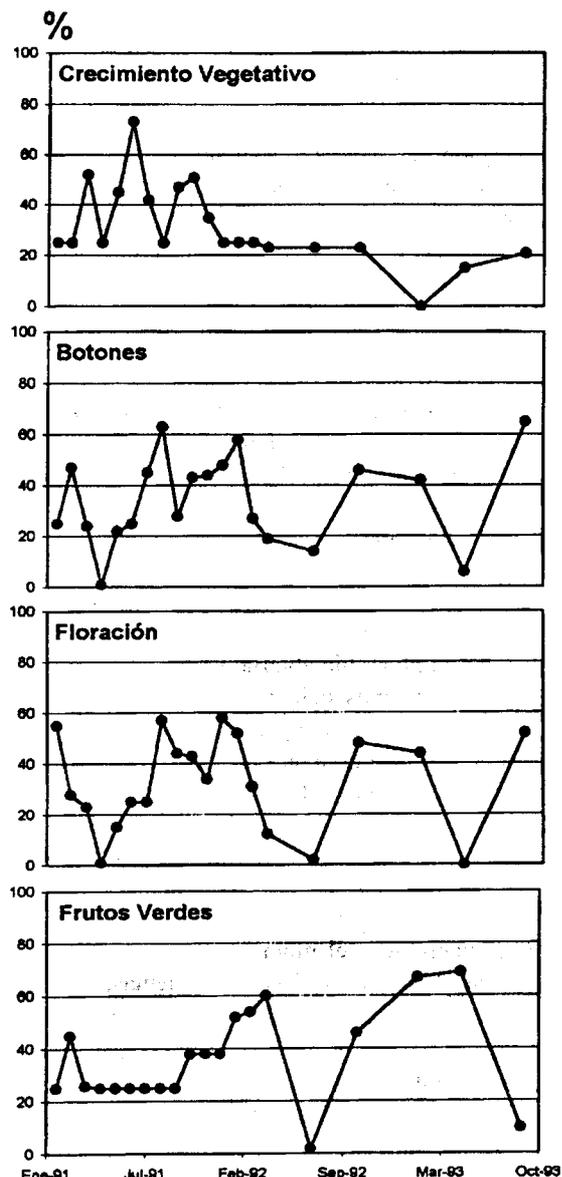


Fig. 2. Porcentaje de abundancia promedio de Crecimiento Vegetativo, Botones Florales, Floración y Frutos Verdes de macadamia, en Atirro, de 1991-1993.

Vegetativo (CV)", los "Botones Florales (BF)", la "Floración (F)" y los "Frutos Verdes en el Arbol (FVA)", desde mayo de 1991 a setiembre de 1993. Como se puede observar la frecuencia en la toma de los datos a partir de mayo de 1992 disminuyó a una observación cada 3 ó 4 meses, lo que debilitó enormemente la utilidad

de la información. Aparentemente, quedaron excluidos algunos puntos bajos que permitían establecer las tendencias.

En el caso de los Botones Florales y la Floración, los puntos muestreados aparentemente coincidieron con los puntos de máxima expresión de los fenómenos.

También, el punto más alto de abundancia de Frutos Verdes, ubicado en abril/mayo, coincidió en ambos años (91 y 92).

En el caso del Crecimiento Vegetativo, lo más notorio de la Figura 2, es que muy probablemente el criterio de evaluación se modificó considerablemente de un período a otro, pues los datos de 1991 no guardan ninguna relación lógica con los de 1992-93.

Otra observación valiosa de esta Figura 2 es que la estimación de Botones Florales cerrados, mediante esta técnica no permitió establecer la diferencia temporal que existe entre este momento y la Floración abierta, ya que los picos de ambos fenómenos coincidieron en los mismos momentos. De ahí que para el análisis siguiente sólo se usará la curva de Floración.

En la Figura 3 se detalla el comportamiento de las curvas de Crecimiento Vegetativo, Floración y Producción en concha para el tratamiento intermedio de los 3 experimentos evaluados. Como se puede observar, hay coincidencia en la magnitud y el momento de ocurrencia de los fenómenos en los 3 sitios. Además, en esta Figura 3, y mejor como promedio en la Figura 4, es posible visualizar la secuencia de procesos.

Como se puede observar claramente (Figura 3), y lo señalan otros autores en otras latitudes (Cull y Stock 1981, Stephenson et al. 1986a) la macadamia presenta anualmente:

- 2 picos de crecimiento vegetativo, o flujos,
- 2 picos de floración que ocurren de 2 a 3 meses después de cada uno de los flujos vegetativos, y
- 2 picos de producción que se concretan 7 a 8 meses después de cada una de las floraciones; o sea que, en un mismo año, estarán conviviendo los 2 flujos vegetativos y las 2 floraciones de ese año, con las 2 cosechas correspondientes al año anterior.

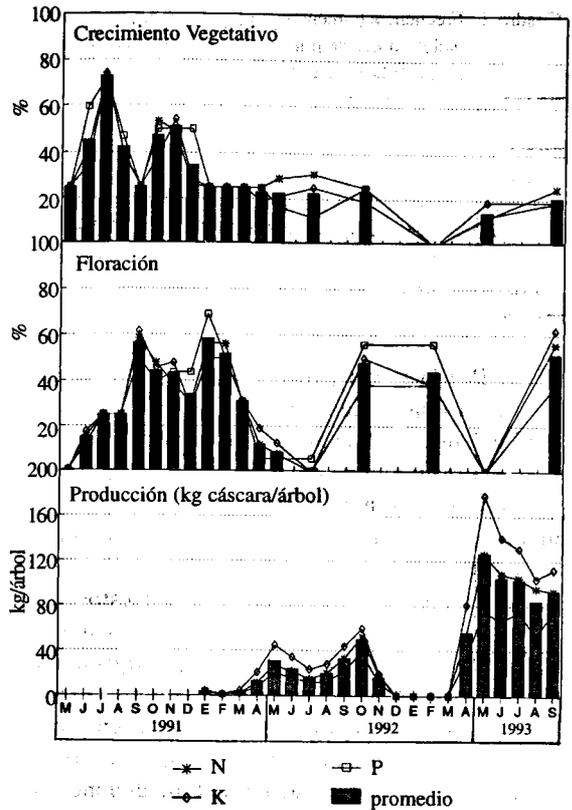


Fig. 3. Comportamiento del Crecimiento Vegetativo, la Floración y la Producción de macadamia en el tratamiento intermedio de los 3 experimentos de nutrición, Atirro, 1991-1993.

La separación entre picos, que se mantiene en forma proporcional para los 3 fenómenos, corresponde con un período de 4 a 5 meses. Otra observación importante es que, un ciclo completo, desde crecimiento vegetativo hasta cosecha, se completa en aproximadamente 10 a 11 meses.

Sobreponiendo las curvas de estos 3 fenómenos en un espacio de 12 meses, es importante destacar la coincidencia que generalmente se producirá entre la ocurrencia del segundo pico de cosecha que viene del año anterior con el inicio del segundo pico de crecimiento vegetativo y el final de la primera floración del año siguiente.

Esta situación es de gran importancia, porque implica que durante este período el árbol estará llevando a cabo con gran intensidad hasta 3 procesos fisiológicos muy diferentes, lo que repercutirá indudablemente sobre la actividad

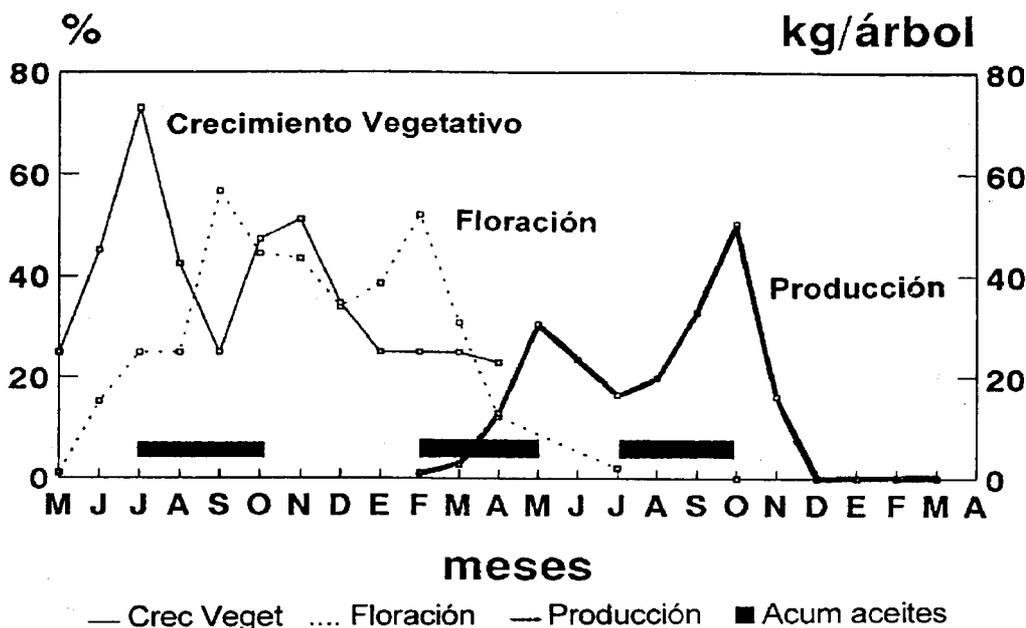


Fig. 4. Fenología de la macadamia, clon 508, en Atirro, Cartago, Costa Rica.

nutricional del mismo. En el resto del año, en general, el árbol de macadamia efectúa los picos de las diferentes actividades fisiológicas en forma independiente. Prácticas que contribuyan al aislamiento de funciones fisiológicas o al menos a la acentuación de algunas de ellas en determinados momentos del ciclo, indudablemente facilitarían el manejo racional del cultivo.

Una síntesis de la secuencia de etapas en el año calendario es la siguiente: cosecha, crecimiento vegetativo, floración, acumulación de aceites, cosecha/crecimiento vegetativo al mismo tiempo, floración.

Variación estacional de N, P y K

Las Figuras 5, 6 y 7 resumen el comportamiento de la concentración foliar de N, P y K, respectivamente, en el tejido foliar de macadamia (clon 508), a lo largo del año, en los 3 sitios de la finca mencionada, en Atirro. Si bien los resultados pertenecen a diferentes experimentos y años en una misma localidad, son suficientemente consistentes entre sí como para permitir la descripción de tendencias generales, que probablemente respondan a características intrínsecas del cultivo.

En la sección A de las figuras aparecen las curvas de variación estacional de mayo de 1991 a abril de 1992, provenientes del tratamiento intermedio de cada experimento, previamente descrito en materiales y métodos.

En la sección B de las figuras se presentan las curvas de variación estacional promedio para los años 89/90 y 91/92. En el caso del ciclo 89/90 el número de muestras por mes fue de 64, mientras que en el 91/92 se promediaron 18 muestras mensualmente. La curva denominada "promedio general" considera los datos de las 5 curvas descritas anteriormente.

En esta última sección están indicadas las fechas en que fue aplicado cada tipo de fertilizante en los experimentos respectivos, para tener en consideración el posible efecto directo de la aplicación sobre la concentración foliar del nutrimento.

Como se puede observar en las 3 Figuras, en ningún caso los aumentos de nutrimentos pueden asociarse directamente con la aplicación del respectivo fertilizante.

Como bien lo indican otros autores (Stephenson et al. 1986a) los flujos de crecimiento vegetativo del árbol de macadamia, así

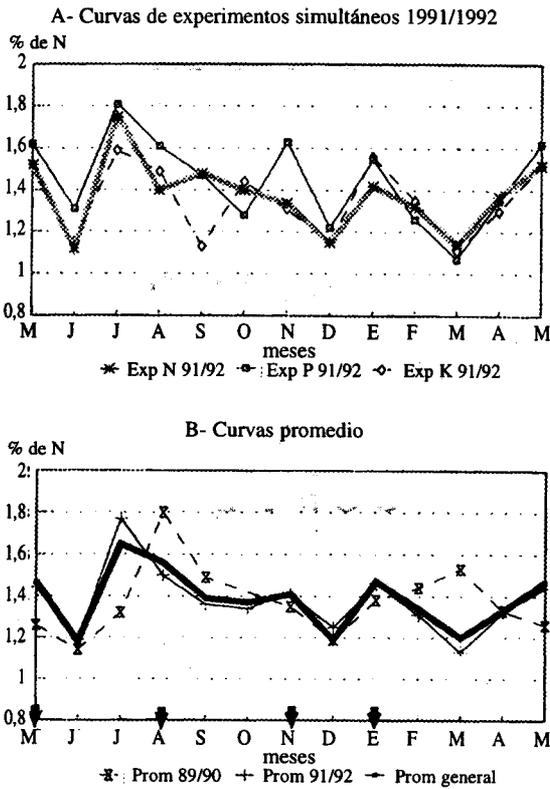


Fig. 5. Variación estacional de N en el tejido foliar de macadamia, clon 508, en Atirro. A-Curvas de experimentos y B-Curvas promedio.

↓ Momento de aplicación de fertilizante.

como el balance entre el desarrollo vegetativo y el reproductivo, tienen una alta influencia sobre los niveles de nutrimentos en los tejidos foliares, al causar dilución o translocación.

Curva de N. Como se puede observar en la Figura 5, durante la mayor parte del año la hoja de macadamia, en estas condiciones de Atirro, presentó concentraciones superiores a 1.4% de N. Esto significa que, salvo en 3 períodos, febrero/marzo/abril, junio y diciembre, un valor inferior a 1.4% indicará una situación anormal. Este "nivel crítico" tentativo de N para macadamia en Costa Rica, presenta alta coincidencia con los valores señalados en los otros países productores de la nuez (Cuadro 3). En esos 3 períodos bajos, concentraciones de 1.2% pueden ser tolerables.

Por otro lado, hay consistencia en todas las curvas en señalar que durante los meses de julio y agosto se presentan los mayores valores de N foliar en macadamia, por lo general, superiores a 1.6%. Estos valores altos de N coinciden con el primer pico de crecimiento vegetativo (Figura 4), lo que constituye un indicador de que la actividad fisiológica está principalmente localizada en el órgano foliar. Si la disponibilidad del elemento para la planta es limitado, o el crecimiento es demasiado abrupto después de un período

Cuadro 3. Tablas de "niveles críticos" o "concentraciones óptimas" foliares para macadamia recopiladas en la literatura.

Nutrimento	Concentraciones óptimas							Ambito*	Promedio**
	1.5	1.15-1.89	1.5-2.5	0.82-1.70	1.5	1.3-1.4	1.5-1.6		
N (%)	1.5	1.15-1.89	1.5-2.5	0.82-1.70	1.5	1.3-1.4	1.5-1.6	1.15-1.89	1.52
P (%)	0.07-0.08	0.04-0.45	0.10-0.30	0.05-0.25	0.075	0.07-0.085	0.08-0.10	0.05-0.30	0.18
K (%)	0.45	0.37-0.97	0.5-1.5	0.50-1.12	0.45	0.6-0.8	0.45-0.65	0.45-1.12	0.78
Ca (%)	0.6-0.9	0.33-0.89	0.5-1.0	0.29-0.79	0.6-0.9	0.7-0.85		0.33-0.9	0.6
Mg (%)	0.10	0.08-0.13	0.1-0.3	0.03-0.12	0.1			0.08-0.13	0.10
S (%)	0.24		0.10-0.25		0.24			0.10-0.25	0.18
B (ppm)	75		25-50		75			25-75	50
Cu (ppm)	4.5		6-12		4.5			4.5-12	8
Fe (ppm)			25-200	40-129				25-200	112
Mn (ppm)	100		100-400	100-1200	100			100-400	250
Zn (ppm)	15		15-50		15			15-50	32

Lugar	Hawaii	Australia	E.U.	California	Australia	Australia	Hawaii
Referencia	Bee	Bee	Wolf	Bhangoo	Stephenson	Cull	Hamilton
Año	1978	1978	1990	1956	1986c	1981	1983

* Corresponde al ámbito total después de eliminar los dos valores (mayor y menor) más extremos

** Valor promedio del ámbito

de reposo (como ocurre en zonas más templadas, como Australia, al finalizar el invierno e iniciarse la primavera), la presencia de una nueva ola de crecimiento puede derivar, contrariamente, en una dilución significativa de la concentración del elemento en la hoja (Stephenson et al. 1986b).

Por otro lado, 2 de los momentos con niveles más bajos (junio y diciembre) corresponden con el final de ambas cosechas (Figura 4). El otro período con concentraciones bajas de N foliar (febrero/marzo/abril) coincide con el segundo período de "posfloración" o sea, con el momento en que se produce el movimiento de compuestos nitrogenados de las hojas hacia los recién formados frutos con el propósito de llenarlos (Figura 4). El segundo pico de crecimiento vegetativo y la primera etapa de posfloración no manifiestan sus efectos sobre la curva de N porque sus tendencias son opuestas y ocurren al mismo tiempo. Por esta razón, las concentraciones foliares de N durante octubre y noviembre se mantienen en niveles medios.

En síntesis, los fenómenos de crecimiento vegetativo incrementan las concentraciones foliares de N mientras que los períodos de posfloración y de conclusión de cosecha los disminuyen.

Curva de P. La principal característica que destaca en la curva de variación del P es su homogeneidad a lo largo del año. En promedio, como se observa en la Figura 6B, el ámbito oscila durante todo el año entre 0.07 y 0.09%, coincidente con los niveles citados por otros autores (Cuadro 3). La máxima desviación estándar a partir de la media que se presentó en la curva promedio del ciclo 89/90, fue de 0.03%.

La literatura hawaiana le da especial atención a este elemento (Cooil et al. 1966) y en algunos documentos se mencionan problemas de exceso ocasionados por la presencia de niveles foliares superiores a 0.11% (Bee et al. 1978, James 1979).

Hablar de valores mayores a 0.07% como concentración mínima necesaria de P a lo largo del año, parece ser el indicador más importante que se desprende del análisis de las presentes curvas.

La asociación entre la variación foliar del P (Figura 6) y las etapas de crecimiento del cultivo (Figura 4) es de poca relevancia.

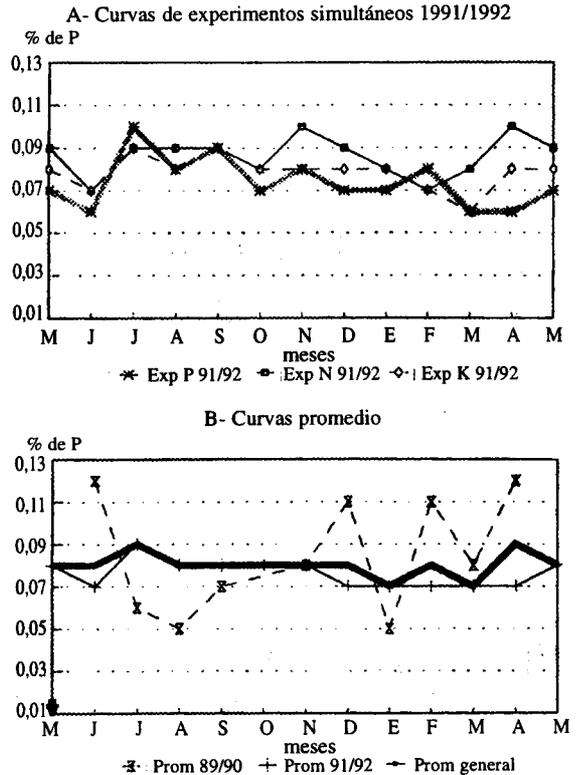


Fig. 6. Variación estacional de P en el tejido foliar de macadamia, clon 508, en Atirro. A-Curvas de experimentos y B-Curvas promedio.
↓ Momento de aplicación de fertilizante.

Curva de K. De igual manera que para los elementos anteriores, la curva de variación estacional de K (Figura 7) que mostró mayor fluctuación fue la correspondiente al promedio 89/90; sin embargo, su tendencia fue igual a la de las otras, sólo que más acentuada.

En general, el K se mantuvo a lo largo del año en concentraciones foliares superiores a 0.6%, salvo en los meses de abril/mayo/junio, agosto y noviembre, que, según la Figura 3, corresponden a las 2 prefloraciones y a los picos y finales de las 2 cosechas, fenómeno bien congruente con las funciones de translocador de fotoasimilados que tiene el nutrimento. Valores foliares mayores, cercanos a 0.7% parecieron importantes en julio y octubre, situación que concuerda con ambos picos de crecimiento vegetativo. La curva proveniente del experimento de P mostró a lo largo de todo el año concentraciones de K mayores que el resto. Esto puede

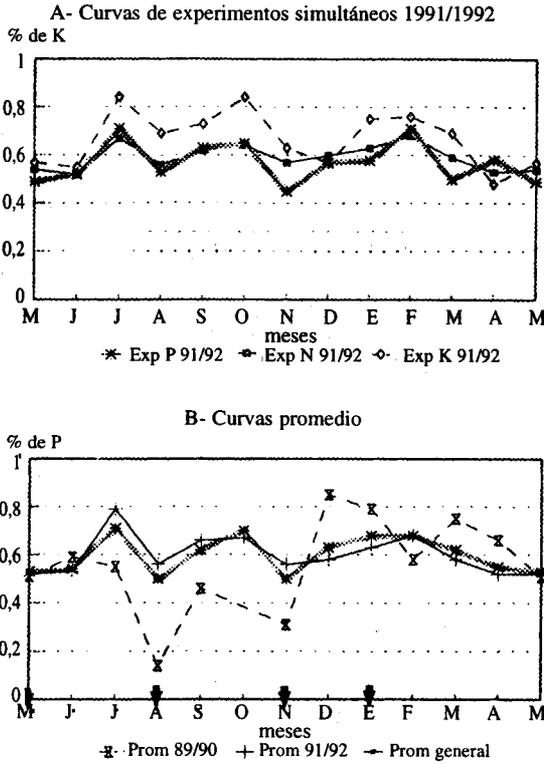


Fig. 7. Variación estacional de K en el tejido foliar de macadamia, clon 508, en Atirro. A-Curvas de experimentos y B-Curvas promedio.
 ↓ Momento de aplicación de fertilizante.

explicarse por las menores producciones obtenidas en este experimento, lo que significó menor translocación del nutrimento de la hoja a la almendra.

En síntesis, la etapa de prefloración, el pico y todo el proceso de cosecha disminuyen el K foliar, mientras que el crecimiento vegetativo tiende a aumentarlo.

Épocas de muestreo. Para identificar, con base en estas curvas, las épocas del año más adecuadas para realizar el muestreo y el análisis foliar en macadamia, resulta importante considerar los 2 siguientes factores:

- Primero, deben evitarse, según lo sugiere también Stephenson et al. (1986a) los momentos en que se presentan comportamiento extremos o picos, ya sea altos o bajos de concentración del elemento, y

- Segundo, deben buscarse momentos en que el coeficiente de variación entre las diferentes curvas comparadas sea mínimo (Cuadro 4).

Un resumen de los meses óptimos para cada elemento en estas circunstancias se presenta en el Cuadro 4.

Para el caso del N, en relación con el primer factor deben excluirse los meses de: marzo, abril, junio, julio, agosto y diciembre, y según el segundo factor (Cuadro 4), coeficientes de variación superiores a 10% se presentaron en los meses de: marzo, julio y setiembre. Por lo tanto, quedan como meses óptimos para el muestreo: enero, febrero, mayo, octubre y noviembre.

Para el P, debido a la alta fluctuación que presentó la curva del ciclo 89/90, los coeficientes de variación fueron superiores a 10% en todos los meses con excepción de mayo y octubre.

Para seleccionar adecuados meses de muestreo para K habría que excluir, por representar picos extremos, los meses de julio, agosto, noviembre y quizá febrero. Y por tener coeficientes de variación muy altos, superiores a 13%, resulta aconsejable excluir marzo, julio, agosto, setiembre, noviembre y diciembre. Esta selección deja como optativos meses de muestreo a enero, abril, mayo, junio y octubre.

En conjunto para los 3 elementos resultaron meses recomendables para futuros muestreos mayo y octubre (Cuadro 4).

En resumen, los valores de concentración foliar más frecuentes a lo largo del año, fueron: 1.4% para N, 0.07% para P y 0.6% para K. Estos valores coinciden muy de cerca con los niveles de suficiencia reportados en la literatura (Cuadro 3), por lo que, si se realiza el muestreo preferiblemente en los meses sin fenómenos de crecimiento demasiado acentuados, o con una combinación de efectos que promedien el comportamiento de los nutrimentos (alrededor de mayo y octubre para esta zona), pueden continuar considerándose y usándose estos valores, como buenos indicadores del estado nutricional de una plantación de macadamia.

Además, si se considera que la macadamia puede tener variaciones en su comportamiento fenológico de zona a zona por efectos climáticos

Cuadro 4. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de las concentraciones foliares mensuales de N, P y K, presentadas por la macadamia, clon 508, en Jiménez, Cartago, en diferentes experimentos y años.

	May	Jun*	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Prom	DE	CV
Nitrógeno															
Experimento N**	1.52	1.12	1.75	1.4	1.48	1.4	1.34	1.1	1.42	1.32	1.14	1.37	1.37	0.17	12
Experimento P	1.62	1.31	1.81	1.61	1.47	1.28	1.63	1.22	1.55	1.26	1.07	1.35	1.43	0.25	17
Experimento K	1.52	1.15	1.59	1.49	1.13	1.44	1.31	1.15	1.56	1.35	1.11	1.3	1.34	0.22	16
Prom 91/92	1.44	1.19	1.77	1.5	1.36	1.34	1.41	1.25	1.46	1.31	1.13	1.32	1.37	0.29	21
Prom 89/90	1.26	1.14	1.32	1.8	1.49		1.35	1.19	1.38	1.44	1.53	1.33	1.38	0.09	7
PROMEDIO	1.47	1.18	1.65	1.56	1.39	1.37	1.41	1.19	1.47	1.34	1.2	1.33	1.38	0.23	17
DE	0.12	0.07	0.18	0.14	0.14	0.06	0.12	0.04	0.07	0.06	0.17	0.02	0.1		
% CV	8	6	11	9	10	4	8	3	5	4	14	2	7		
Fósforo															
Experimento N	0.09	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	0.1	0.09	0.08	0.07	0.08	0.1	0.09	0.01	12
Experimento P**	0.07	0.06	0.1	0.08	0.09	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.02	27
Experimento K	0.08	0.07	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.0	0.08	0.01	13
Prom 91/92	0.08	0.07	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.01	13
Prom 89/90		0.12	0.06	0.05	0.07		0.08	0.11	0.05	0.11	0.08	0.12	0.08	0.03	35
PROMEDIO	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.08	0	5
DE	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01		
% CV	9	27	16	18	10	6	10	18	16	19	13	25	15		
Potasio															
Experimento N	0.54	0.52	0.67	0.56	0.62	0.64	0.57	0.6	0.63	0.68	0.59	0.53	0.6	0.08	13
Experimento P	0.57	0.55	0.84	0.69	0.73	0.84	0.63	0.57	0.5	0.76	0.69	0.48	0.68	0.15	21
Experimento K**	0.49	0.52	0.71	0.53	0.63	0.65	0.45	0.57	0.58	0.71	0.5	0.58	0.58	0.1	16
Prom 91/92	0.52	0.53	0.79	0.56	0.66	0.67	0.56	0.58	0.63	0.68	0.58	0.52	0.61	0.13	21
Prom 89/90	0.51	0.59	0.55	0.14	0.46		0.31	0.85	0.79	0.58	0.75	0.66	0.56	0.02	4
PROMEDIO	0.53	0.54	0.71	0.5	0.62	0.7	0.5	0.63	0.68	0.68	0.62	0.55	0.61	0.09	14
DE	0.03	0.03	0.1	0.19	0.09	0.08	0.11	0.11	0.08	0.06	0.09	0.06	0.09		
% CV	5	5	14	38	14	12	22	17	12	9	14	11	14		

* En los experimentos de N, P y K, los datos provienen, secuencialmente de mayo de 1991 a abril de 1992, excepto el mes de junio que corresponde a 1992.

** De cada uno de estos experimentos se usó el tratamiento que probaba la dosis más cercana a la usada como base en los otros 2 ensayos.

DE= desviación estándar

CV= % de coeficiente de variación

y presentar desplazamiento o alargamiento de alguna de sus etapas, la forma más segura de extrapolar la información de estas curvas de variación estacional foliar, es asociando las fluctuaciones de los nutrimentos directamente con los fenómenos de crecimiento. De esta manera, durante el crecimiento vegetativo, aumentan los % de N y K, en prefloración disminuye el % de K, durante la posfloración disminuye el % de N, durante la cosecha disminuye el % de K y al final de la cosecha, baja el % de N.

AGRADECIMIENTOS

La primera autora desea reconocer muy especialmente la participación del Dr. Luis Carlos González como responsable directo de que este esfuerzo de tantos años, dinero y trabajo de muchos, se haya convertido en una realidad, al depositar su confianza en mi persona para la elaboración del presente documento. También agradezco la colaboración brindada por el Ing. Agr. Herman Antonio Pérez en la revisión técnica del artículo.

LITERATURA CITADA

- BAIGENT, R. 1981. The usefulness of leaf analysis results in management in macadamia. *California Macadamia Society Yearbook* 27:52-57.
- BHANGOO, M.S.; WALLACE, A. 1956. Inorganic composition of healthy and chlorotic macadamia leaves. *California Macadamia Society Yearbook* 2:26-31.
- BEE, J.; CULL, B.; PRICE, G. 1978. Macadamia nutrition. *California Macadamia Society Yearbook* 24:62-88.
- BRICEÑO, J.A.; PACHECO, R.A. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, Universidad de Costa Rica. 152 p.
- COOIL, B.J. 1966. Fertilizing macadamia orchards that are closing in. *Hawaii Macadamia Producers Association. 5th. Annual Meeting Proceedings.* p. 28-32.
- COOIL, B.J.; WATANABE, Y.; NAKATA, S. 1966. Relationships of phosphorus supply to growth, yield, and leaf composition in macadamia. University of Hawaii, CTA-Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 66. 71 p.
- CULL, B.; STOCK, J. 1981. Foliar nutrient research. *California Macadamia Society Yearbook* 27:58-59.
- CULL, B.W.; STEPHENSON, R.A.; STOCK, J.; PRICE, G. 1987. Cyclic patterns related to nutrient status of macadamia. In *First Australian Macadamia Research Workshop. Australian Macadamia Society. Session 6, paper 3.*
- DIERBERGER, J.E.; NETTO, L.M. 1985. Noz macadamia: uma nova opção para a fruticultura brasileira. Sao Paulo, Brasil, Nobel. 120 p.
- FOURNIER, L.A. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24(4):422-423.
- FOURNIER, L.A. 1976. El dendrofenograma, una representación gráfica del comportamiento fenológico de los árboles. *Turrialba* 26(1):96-97.
- FOX, R.L. 1975. The macadamia nut in California. *California Macadamia Society Yearbook* 21:2.
- HAMILTON, R.A.; ITO, P.J.; CHIA, C.L. 1983. Macadamia: Hawaii's dessert nut. University of Hawaii. Circular no. 45. p. 10-11.
- JAMES, L.E. Chlorosis in macadamia trees. 1979. *California Macadamia Society Yearbook* 25:139-143.
- JONES, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H. 1990. Handbook of plant analysis. Macro-Micro Publishing. (faltan páginas).
- JONES, W.W.; EMBLETON, T.W. 1970. Macadamia nutrition: Progress report on the Schneider Grove fertilizer experiment. *California Macadamia Society Yearbook* 15:41-43.
- MATSUMUTO, D.K.; ERSKINE, F.C.; YEE, W. 1966. Macadamia fertilization work with Honokaa Sugar Company. *Hawaii Macadamia Producers Association, 5th Annual Meeting Proceedings. Hawaii.* p. 37-40.
- O'HARE, P.; LOEBEL, R.; SKINNER, I. 1996. Growing macadamias in Australia. The State of Queensland, Department of Primary Industries. p. 24-25.
- PRICE, G.H. 1981. Nutritional management of macadamia. *California Macadamia Society Yearbook* 27:43-47.
- RUSSELL, B.; RUSSELL, J. 1987. A handy guide to tree nutrient deficiencies. *California Macadamia Society Yearbook* 33:91-93.
- STEPHENSON, R.A. 1987. Macadamia nutrition. V. Factors influencing yield. *California Macadamia Society*

Yearbook 33:85-90. Australian Macadamia Society News Bulletin 13(1). 1986.

STEPHENSON, R.A.; CULL, B.W.; MAYER, D.G. 1986d. Effects of site, climate, cultivar and soil and leaf nutrient stages on yields of macadamia in South East Queensland. *Scientia Horticulturae* 30:227-325.

STEPHENSON, R.A.; CULL, B.W.; STOCK, J. 1986a. Vegetative flushing patterns of macadamia trees in south east Queensland. *Scientia Horticulturae* 30:53-62.

STEPHENSON, R.A.; TROCHOULIAS, T. 1994. Macadamia. In *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. Vol 2: sub-tropical and tropical crops. Ed. by B. Schaffer and P.C. Andersen. Florida, CRC Press. p. 147-163.

STEPHENSON, R.A.; CULL, B.W.; MAYER, D.G.; PRICE, G.; STOCK, J. 1986b. Seasonal patterns of macadamia leaf nutrient levels in south east Queensland. *Scientia Horticulturae* 30:63-71.

VOCK, N.T. et al. 1989. Growing macadamia nuts in South Queensland. Nambour, Queensland Department of Primary Industries. p. 10-11.

STEPHENSON, R.A.; CULL, B.W. 1986c. Standard leaf nutrient levels for bearing macadamia trees in south east Queensland. *Scientia Horticulturae* 30:73-82.