CRECIMIENTO, PRODUCCION DE FITOMASA Y REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CAFETO EN ALTAS DENSIDADES SOBRE SUELO FERRALITICO ROJO DE MONTAÑA

R. Rivera, J. D. Mederos, B. León y F. Fernández

ABSTRACT. This investigation characterizes the vegetative growth, phytomass production and N, P_2O_5 and K_2O requirements from a shaded coffee population of 12 500 plants.ha^{-1}, on a mountaneous Red Ferralitic soil 750 m above sea level in Topes de Collantes, Sancti Spíritus province, evaluating plant height, canopy diameter, leaf area, the number, length and internodes of primary branches, secondary branches as well as phytomass production and N, P_2O_5 and K_2O uptakes of different plant compartments and the overall plantation. Under these appropriate conditions, coffee presented adequate growth indexes, such as the emergence of nine pairs of primary branches.year^{-1}, high leaf area indexes reaching up to ten in the fourth year and good yields with an annual average of 2.7 t berries.ha^{-1} within the first four harvests. Top phytomass production.year^{-1} was 13.3 t dry weight.ha^{-1} at the productive stage, 46 % corresponding to fruits which indicates a nice plantation efficiency. High nutrient requirements were recorded, with cumulative amounts of 806, 111 and 847 kg N, P_2O_5 and K_2O.ha^{-1} respectively over the first five years and annual uptakes depending upon yield level which sometimes attained up to 270 kg N and K_2O, and 35 kg P_2O_5.

Key words: *Coffea arabica*, plant density, phytomass, growth, nutrient uptake, leaf area, shade

RESUMEN. Se caracterizaron el crecimiento vegetativo, la producción de fitomasa y los requerimientos de N, P_2O_5 y K_2O de una plantación de cafeto cultivada bajo sombra y con una densidad de 12 500 plantas.ha^{-1}, sobre suelo Ferralítico Rojo de montaña a 750 m sobre el nivel del mar en Topes de Collantes, provincia de Sancti Spíritus. Se evaluaron la altura, el diámetro de la copa, el área foliar, el número, la longitud y los entrenudos de las ramas primarias, las ramas secundarias, así como la producción de fitomasa y la extracción de N, P_2O_5 y K_2O en los diferentes compartimientos de la planta y en toda la plantación. Se encontró que el cafeto en estas condiciones apropiadas presentó buenos índices de crecimiento, entre los que se destacan la emisión de nueve pares de ramas primarias.año^{-1}, altos índices de área foliar, que alcanzaron hasta diez en el cuarto año y magníficos rendimientos con un promedio anual de 2.7 t café oro.ha^{-1} en las primeras cuatro cosechas. La producción anual de fitomasa alcanzó valores de hasta 13.3 t masa seca.ha^{-1} en la etapa productiva, de los cuales el 46 % correspondió a los frutos e indica una alta eficiencia de la plantación. Los requerimientos de nutrientes fueron altos, con acumulados en los primeros cinco años de 806, 111 y 847 kg N, P_2O_5 y K_2O.ha^{-1} respectivamente y extracciones anuales dependientes del nivel de rendimiento que, en ocasiones, alcanzaron hasta 270 kg de N y K_2O y 35 kg P_2O_5.

Palabras claves: *Coffea arabica*, densidad de la población, fitomasa, crecimiento, extracción de nutrientes, área foliar, umbría

INTRODUCCION

Los primeros informes sobre el uso beneficioso de las altas densidades de plantación, en el cultivo del cafeto en Cuba, datan de la década del 80 (Sara L. Cortés y Soto, 1983 y Sara Cortés, 1984), evaluándose no solo el efecto beneficioso sobre el rendimiento sino además sobre algunos índices morfológicos y el índice de área foliar; sin embargo, no fueron objetivos de estos trabajos caracterizar la estructura del sistema vegetativo, ni la producción de fitomasa, ni la evaluación de los requerimientos nutricionales del cafeto.

Ciertamente no abundan estos trabajos en el cultivo del cafeto, fundamentalmente por ser un cultivo perenne y por la necesidad de ejecutarlos durante un período de años, así como por lo engorroso de las evaluaciones; no obstante, dan una valiosa y decisiva información que permite definir la eficiencia de la plantación en la producción de fitomasa y explotación del área, los hábitos de crecimiento, los requerimientos nutricionales y el ciclo agrológico de los nutrientes; asimismo ofrecen importantes criterios para determinar el inicio de la poda sistemática y los marcos de plantación más adecuados, así como en sentido integral caracterizan las plantaciones de cafetos.

Dr. R. Rivera, Investigador Titular; J. D. Mederos y F. Fernández, Investigadores Agregados y B. León, Especialista del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal No. 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

Con tales objetivos, se comenzaron estos trabajos en la década del 80 en las principales condiciones edafoclimáticas, publicándose con anterioridad el referente a plantaciones a plena exposición solar y bajas alturas sobre suelo Ferralítico Rojo (Rivera, 1992, y Rivera y Mederos, 1993), correspondiendo este a plantaciones con altas densidades sobre suelo Ferralítico Rojo de montaña y en alturas cercanas a 750 m sobre el nivel del mar, que se encuentra entre las regiones con mejores condiciones climáticas para el cultivo del cafeto en el país.

MATERIALES Y METODOS

En septiembre de 1986 en la zona de Cudina, Topes de Collantes, provincia de Sancti Spíritus y a 700-750 m sobre el nivel del mar, fue plantado un experimento con plantas del genotipo ISLA, con una densidad de población de 12 500 plantas.ha^{-1} (2x0.4 m) y sobre suelo Ferralítico Rojo de montaña (Ruiz, 1990, comunicación personal).

Las principales características químicas iniciales del suelo (Tabla I) corresponden a suelos ácidos de montaña, con ligeros contenidos de aluminio intercambiable en los primeros 20 cm, pero que se incrementan fuertemente en la profundidad alcanzando hasta 2-3 cmol.kg^{-1} a partir de los 40-50 cm (Rivera *et al.*, 1992). Como dato de interés, estos suelos pueden alcanzar inclusive 2 cmol Al.kg^{-1} en los primeros 20 cm de profundidad.

Se caracterizan además por altos contenidos de materia orgánica, bajos en fósforo disponible, medios en calcio y magnesio, relativamente altos de potasio intercambiable y su capacidad de intercambio catiónico oscila entre 10-13 cmol.kg^{-1}.

La precipitación y temperatura del área experimental se presentan en la tabla II, indicando condiciones muy adecuadas para el cultivo del *Coffea arabica*, de acuerdo con los criterios expuestos por Carvajal (1984), y Camargo y Pereira (1989) entre otros.

La plantación se desarrolló inicialmente bajo sombra natural de pomarrosa (*Eugenia jambo*) y con posterioridad en 1988 se plantó albicia (*Albizia* sp.), manteniéndose una arborización conjunta de las dos especies y con un manejo anual de la sombra en el período febrero-marzo.

El área experimental constó de 1 700 plantas manejadas a crecimiento sostenido a 2 m de altura, sometiéndose a una poda baja total a 30 cm de altura en febrero de 1992, por lo que la información aquí presentada responde al primer ciclo productivo.

La fertilización procedió de acuerdo con el sistema mostrado en la tabla III, el cual garantizó las necesidades de nutrientes para altos rendimientos en este tipo de suelo (Rivera *et al.*, 1992). El resto de las atenciones culturales y fitosanitarias fueron realizadas de acuerdo con el Instructivo técnico del cultivo (Cuba. MINAGRI, 1987).

EVALUACIONES

Morfológicas. A los 6, 18, 31, 45 y 54 meses de plantado el cafeto, se midió la altura y el diámetro de la copa al 25 % de la plantación.

Caracterización de la estructura del sistema vegetativo. A los 15, 29, 36, 50 y 62 meses y cada vez en siete plantas situadas consecutivamente y representativas del desarrollo del cafeto, se evaluaron: el número y la longitud de las ramas primarias, el número de entrenudos de estas ramas, el número de ramas secundarias y sus entrenudos por rama primaria, el número de ramas terciarias y sus entrenudos por rama primaria. Asimismo, en estos momentos se evaluó el área foliar por planta, según una adecuación realizada por Soto y Rivera (1979) del método del disco, y se calculó el correspondiente índice de área foliar (IAF).

Producción de fitomasa y requerimientos nutricionales. Al mismo tiempo e incrementando las plantas situadas consecutivamente en dos "surcos" hasta 12-14, se procedió a extraerlas y separar el sistema aéreo en diferentes compartimientos: hojas, ramas lignificadas, ramas verdes, tallo lignificado, tallo verde y frutos. A partir de marzo de 1989, se procedió a situar mallas recolectoras debajo de las plantas que se extraerían, evaluando mensualmente el tejido vegetal que cayó y expresándose en este trabajo como caída de hojas.

En todos los casos se procedió a determinar la masa seca y expresarse como t masa seca ha^{-1}, así como el correspondiente análisis químico de N, P y K (% masa seca). Se calcularon la producción de fitomasa y los requerimientos nutricionales acumulativos (kg N, P_2O_5, K_2O.ha^{-1}) en cada fecha de extracción, así como se estimaron los anuales a través de la interpolación realizada para 12, 24, 36, 48 y 60 meses y posterior resta entre los correspondientes a años sucesivos.

Tabla I. Características agroquímicas iniciales (0-20 cm profundidad)

Suelo	pH-H_2O	pH-KCl	M.O. (%)	P_2O_5 (mg.100 g^{-1})	K_2O (mg.100 g^{-1})	Ca (cmol.kg^{-1})	Mg (cmol.kg^{-1})	Al (cmol.kg^{-1})
Ferralítico Rojo de montaña	4.6	3.79	5.92	1.62	1.87	3.89	0.94	0.30

* cada evaluación media de 96 muestras

Tabla II. Características climáticas período 1986-1991

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Precipitación mensual (mm)	118.2	56.18	69.8	68.1	514.4	363.6	156.0	197.6	288.0	220.3	71.9	51.6	2175.6
Temperatura media (°C)	17.9	18.8	17.4	20.1	21.0	22.4	22.7	22.9	22.7	21.0	20.1	18.2	20.4

Tabla III. Fertilización N, P_2O_5 y K_2O ($kg.ha^{-1}$) utilizada en el período 1986-1991

	1986	1987	1988	1989	1990	1991
N	105	150	300	375	375	375
P_2O_5	225	-	-	-	-	-
K_2O	300	-	-	250	250	250

El rendimiento se obtuvo a partir de la cosecha del 25 % de la plantación, en surcos de 25 plantas, utilizándose también este dato como base de cálculo para la producción de fitomasa y exportación de nutrientes por el cafeto.

En este tipo de trabajo con altas densidades de plantación, es más adecuado muestrear plantas consecutivas que plantas aisladas, para poder integrar los efectos de competencia que se dan en el surco y evitar sobrestimar cualquiera de las variables que expresan el crecimiento y desarrollo del cafeto.

RESULTADOS Y DISCUSION

Crecimiento y estructura del sistema vegetativo. El cafeto en estas condiciones apropiadas de precipitación y temperatura (Tabla II) y con un sistema de fertilización adecuado, alcanza buenos índices de crecimiento (Tabla IV), siendo de destacar que antes de los dos años las plantas alcanzan 1 m de diámetro de la copa, obteniéndose en las primeras evaluaciones relaciones altura/diámetro alrededor de 1.15-1.20 m.

Con posterioridad este índice aumenta, conducta típica del cafeto, debido a que el efecto "negativo" de las altas cosechas se refleja con más intensidad sobre el diámetro de la copa, o lo que es lo mismo, sobre la longitud de las ramas primarias fructíferas que sobre la altura de la planta (Rivera y Ofelia Sam, 1983; Rivera y Mederos, 1993).

Es interesante ver cómo la relación altura/diámetro de la copa presentó una tendencia y valores absolutos similares a los encontrados en otras buenas plantaciones con esa misma densidad y tipo de suelo, pero a 500 m sobre el nivel del mar (Rivera *et al.*, 1992), mientras que en buenas plantaciones con densidades medias (5 000 plantas.ha^{-1}) y a bajas alturas (138 m sobre el nivel del mar) se obtuvieron índices de 0.95-1.0 (Rivera, 1992).

Las diferencias encontradas entre estas plantaciones deben ser una consecuencia en lo fundamental de los diferentes marcos de plantación, a través del efecto positivo de las altas densidades sobre la altura de las plantas (Kumar, 1978 y Sara L. Cortés, 1984), siendo posiblemente estos valores (1.15-1.20) los indicativos de buenas plantaciones para altas densidades, teniendo en cuenta el buen estado de la plantación y los altos rendimientos obtenidos (Tabla IV), con un promedio anual de 2.71 t café oro.ha^{-1} en las primeras cuatro cosechas incluyendo el despunte.

Los índices de crecimiento encontrados fueron muy superiores a los obtenidos en las zonas de III Frente y Guisa en la región oriental del país, para plantaciones con densidades de población similares y condiciones climáticas menos adecuadas (Rivera *et al.*, 1992).

La plantación alcanzó IAF altos en correspondencia con su crecimiento, pudiéndose destacar que en el cuarto año se obtuvieron los índices superiores y en un rango de 7-10.4, los cuales son similares al IAF "óptimo" encontrado por Valencia (1973), de 7.97 en plantaciones de cafetos con altas densidades (10 000 plantas.ha^{-1}) en Colombia, donde se obtuvo dicho valor en el tercer año de plantación.

Es de señalar que el IAF, al menos en el primer ciclo productivo del cafeto, no se estabiliza sino que sigue una dinámica, cuyos valores absolutos dependen del estado y la edad de la plantación y en última instancia del manejo y la condición edafoclimática, por lo cual cualquier intento de utilización de este índice debe estar en función del conocimiento de esta dinámica, más que de un valor absoluto.

Un aspecto que avala las buenas condiciones climáticas de esta zona, es que la permanencia de las hojas en los nudos fructíferos fue muy superior a las encontradas en zonas más bajas, mientras que en agosto en Topes de Collantes, del 60-70 % de las ramas productivas poseían pares de hojas en plantaciones a alturas bajas de 138 m sobre el nivel del mar, y solo del 10-20 % de estos nudos poseían hojas (Rivera, datos sin publicar), lo cual es una consecuencia del ritmo de crecimiento más lento del fruto, que se origina en las plantaciones situadas en alturas superiores y con temperaturas medias anuales más bajas, lo que conlleva a una disminución en la intensidad de traslocación de metabolitos y nutrientes a los frutos y, por tanto, evita la rápida caída de estas hojas.

Tabla IV. Indices de crecimiento y rendimiento del cafeto

	6 meses	18 meses	31 meses	45 meses	54 meses
Altura (cm)	38	85	150	177(1)	200(1)
Diámetro de la copa (cm)	30	73	130	130	137
Altura/diámetro copa	1.26	1.16	1.15	1.36(1)	1.46(1)
	1er. año	2do. año	3er. año	4to. año	5to. año
Indice de área foliar (IAF)	1.9	3.5	4.9-6.6(2)	7-10.0(2)	5.2-6.2(2)
Rendimiento t café oro.ha^{-1} (3)	-	1.3	3.17	3.98	2.41

(1) evaluación influida por el crecimiento sostenido
(2) estimación del rango de IAF que alcanzaron las plantas en el año en cuestión, dependiendo del mes en que se haga la evaluación
(3) relación café oro.café cereza = 0.18

Precisamente en cultivos como el cafeto, con una tasa de asimilación fotosintética baja (Rena y Maestri, 1987), el mantener IAF altos en los momentos de mayor demanda de metabolitos y nutrientes, es decisivo para el éxito económico del cultivo, y si a esto se le añade que el cafeto es una planta C-3, pues entonces el cultivarlo en zonas con un régimen óptimo de temperaturas disminuye la importancia de la fotorrespiración y del propio efecto negativo de las altas temperaturas sobre la permanencia de las hojas (Rena y Maestri, 1987), todo lo cual conlleva a garantizar una tasa apropiada de fotosíntesis neta que permita altos rendimientos anuales, tal como se ha logrado en estas condiciones (Tabla IV).

El hábito de crecimiento del sistema vegetativo aparece descrito en la figura 1, con una emisión aproximada de nueve pares de ramas primarias.año^{-1}. En relación con el crecimiento secundario, este se encontró de forma significativa a partir de la evaluación de los 36 meses, en el tercio inferior de la copa del cafeto y con un promedio de solo una rama secundaria por primaria; en la evaluación de los 50 meses el número de ramas secundarias por ramas primarias se incrementó, oscilando entre tres y seis, aunque manteniéndose solamente en el tercio inferior de las ramas primarias.

En la evaluación final a los 62 meses, se encontró una fuerte desaparición de las ramas primarias inferiores así como disminución en la longitud de estas, dado sobre todo por el agotamiento de la planta debido a las sucesivas altas cosechas obtenidas, así como por el debilitamiento de las ramas inferiores debido a la poca entrada de luz en dicha zona, asociado con el crecimiento y el marco de plantación. Esta situación sugiere que después de la cuarta cosecha (62 meses), esta plantación debe ser sometida a poda baja, debido a la estructura productiva que presenta.

La emisión de ramas primarias.año^{-1} fue inferior a la encontrada para densidades similares, pero cultivadas a plena exposición solar y baja altura, donde se obtuvo un promedio de 11 ramas primarias.año^{-1} (Rivera *et al.*, 1992), lo cual debe estar asociado con las mayores temperaturas medias anuales (23.5°C) existentes en aquellas condiciones.

En relación con lo anterior, es de señalar que en esas plantaciones a bajas alturas, si bien las mayores temperaturas presentes promueven un mayor crecimiento del tejido leñoso, no se logra una mayor permanencia del área foliar, afectándose la tasa de fotosíntesis neta y aumentando los riesgos de descompensación, todo lo cual incide sobre los rendimientos promedio en la etapa productiva.

Producción de fitomasa. La producción de fitomasa en el sistema aéreo (Tabla V) presentó un comportamiento muy diferenciado entre la etapa inicial de establecimiento de la plantación (hasta los 24 meses) y la etapa posterior productiva. En la fase inicial los valores de fitomasa anualmente se incrementaron hasta cerca de 4 t masa seca.ha^{-1}.año^{-1} y a partir de este momento se elevaron fuertemente, alcanzando hasta 13.76 t masa seca.ha^{-1}.año^{-1} en el cuarto año; con posterioridad disminuyó, siendo posiblemente una consecuencia del "agotamiento" por las altas cosechas obtenidas, lo cual también había sido indicado por los anteriores índices de crecimiento evaluados (Tabla IV, Figura 1).

Tabla V. Producciones acumulada y anual de fitomasa (t masa seca.ha^{-1}) por el cafeto en el sistema aéreo

Producción acumulada*	15 meses	29 meses	36 meses	50 meses	62 meses
Hojas	1.48	2.51	3.99	5.41	4.05
Ramas lignificadas	0.48	0.77	1.76	3.05	3.30
Ramas verdes	0.075	0.35	0.75	0.69	0.40
Tallo lignificado	0.95	1.45	3.48	5.57	6.31
Tallo verde	0.015	0.06	0.013	0.063	0.02
Caída de hojas acumulada	–	–	1.35	4.23	6.95 (1)
Cosecha acumulada	–	2.02	6.96	13.16	17.82
Sistema aéreo acumulado	3.00	7.16	18.30	32.17	38.85
Producción anual estimada (t masa seca.ha^{-1}.año^{-1})	1er. año 2.4	2do. año 3.95	3er. año 11.95	4to. año 13.76	5to. año 6.79

* cada evaluación media de 12-14 plantas
(1) incluye 1.7 t masa seca.ha^{-1} caídas

Las hojas fueron un compartimiento importante, obteniéndose en la evaluación final que el 23.9 % de la producción de fitomasa correspondía a tejido foliar (hojas + hojas caídas). En dicha evaluación se encontró que el 13.9 y el 16.3 % de la fitomasa producida formaba parte de las ramas y tallo respectivamente, encontrándose en el sistema vegetativo el 54.1 %.

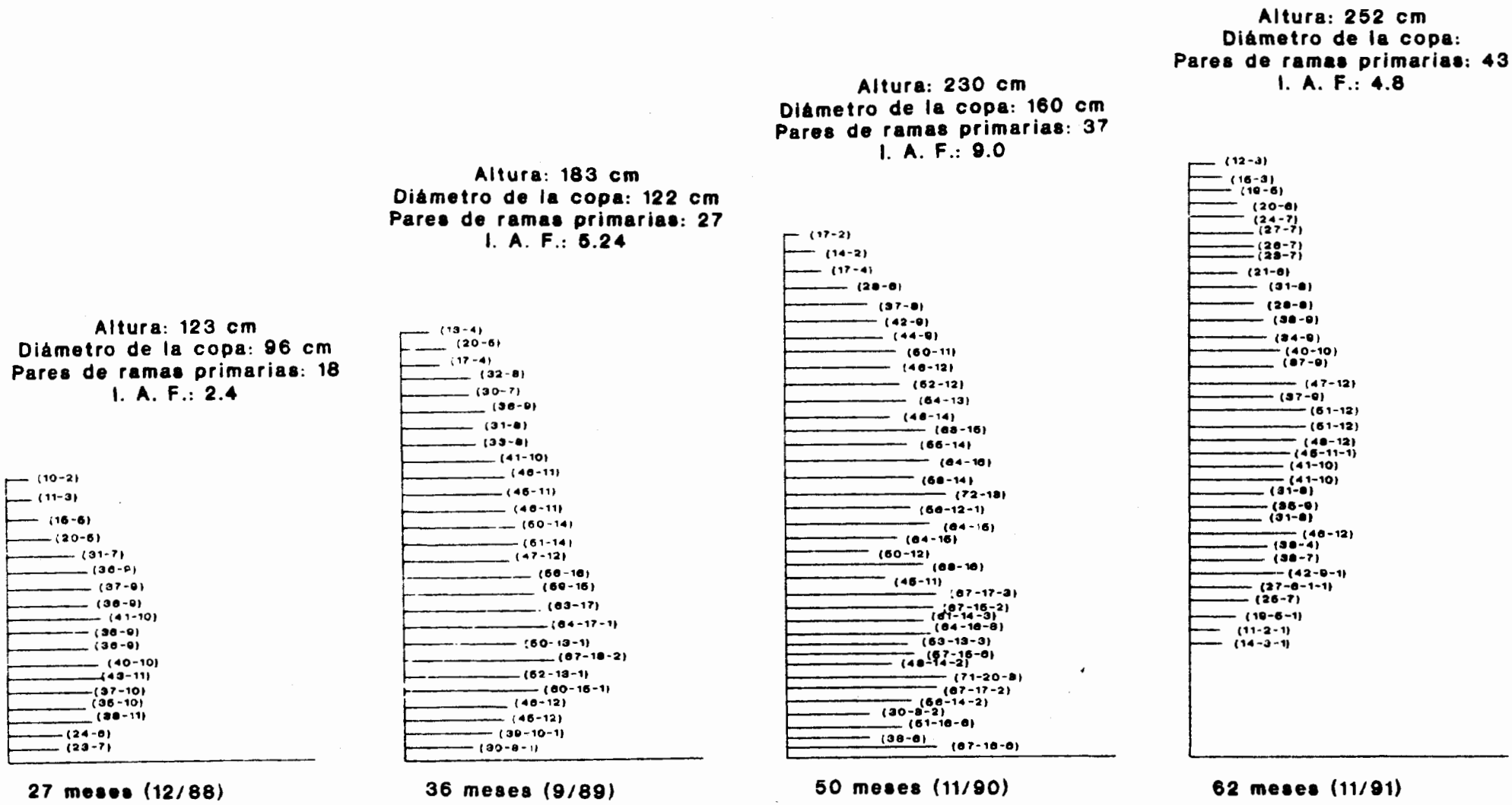
Muy significativa fue la participación de los frutos como reservorio de la fitomasa, correspondiendo a este compartimiento el 45.8 % e influyendo decisivamente en los valores de fitomasa obtenidos.

Si bien no abundan los trabajos de caracterización de la producción de fitomasa del cafeto y ser además muy dependiente del manejo y ecosistema en particular, los aspectos más generales como la diferenciación de la producción en dos etapas fueron relativamente similares a los datos obtenidos por Correa, García y Costa (1986), y Rivera (1992).

En este último trabajo se evaluó con un método similar una plantación de cafeto a plena exposición solar, ubicada a 138 m sobre el nivel del mar y 23.5°C de media anual, con una densidad de 5 000 plantas.ha^{-1}, estimándose en 31.7 t masa seca.ha^{-1} la fitomasa acumulada a los 62 meses en el sistema aéreo y donde al fruto correspondía el 32.5 %, valores ambos inferiores a los obtenidos en este caso y que indican una eficiencia superior de la plantación aquí estudiada, no solo al producir más fitomasa sino con una mejor conversión en cosecha.

Ciertamente, entre ambos experimentos existen diferencias en dos causas de variación importantes, el clima y la densidad de plantación; no obstante, a partir de los resultados obtenidos y los encontrados en otros experimentos (Rivera, 1991), en que se observó cómo el incremento de la densidad aumentaba la relación masa seca sistema vegetativo por cosecha, indican que fue fundamentalmente consecuencia de las mejores condiciones climáticas, el que las plantaciones en Topes de Collantes tengan esta mejor conversión o eficiencia para producir.

Un aspecto que se encuentra muy relacionado con este hecho es que el peso promedio de la cereza en Topes de Collantes está alrededor de 2.2 g, mientras que en la otra condición no sobrepasa los 1.25-1.3 g.



Experimento: Area de Balance Tratamientos: C, NPK

Figura 1. Indices de crecimiento y distribución de ramas a diferentes edades. Sitio Cudina-Topes de Collantes

Las diferencias encontradas si bien están asociadas directamente con características como: la intensidad de la floración y frutos por nudo, la intensidad del crecimiento del fruto y la traslocación de los productos del metabolismo hacia estos, la permanencia de las hojas, fotosíntesis, fotorrespiración y fotosíntesis neta, etcétera; en última instancia, ellas dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas en que se encuentren ubicadas las plantaciones.

En este sentido no se evaluó el sistema radical, no obstante, la estimación de producción de fitomasa a partir de los datos obtenidos para el cafeto en otras condiciones (Rivera, 1988; Rivera y Mederos, 1993) permite asumir que un 10 % de la fitomasa producida corresponde al sistema radical, lo cual asciende a 3.8 t masa seca.ha^{-1} en el período.

Los valores de producción de fitomasa encontrados caen en el rango de > 12 t masa seca.ha^{-1}.año^{-1}, que Rojas (1987) consideró como criterio para evaluar las plantaciones de muy buenas y situadas en condiciones edafoclimáticas apropiadas para el cultivo del cafeto en Costa Rica.

Asimismo fueron superiores a los valores estimados por Leda Menéndez *et al.* (1988) en su caracterización de los bosques siempre verde medio de la Sierra del Rosario en Pinar del Río, los cuales oscilaron entre 1.86-9.64 t masa seca.ha^{-1}.año^{-1} y que corroboran que el cafeto no solo es un cultivo de importancia económica sino que aprovecha adecuadamente la potencialidad del ecosistema.

Con posterioridad, al podarse la plantación a 30 cm, se incorporan al suelo 14 t masa seca.ha^{-1}, que junto con las 7 t evaluadas como caída de hojas y considerando al menos un 30-40 % del sistema radical, conllevan a una incorporación de alrededor de 23 t masa seca.ha^{-1} en un período de cinco años. Esta cantidad se eleva hasta 27 t masa seca.ha^{-1} si se recicla la pulpa del cafeto.

Concentración de macroelementos y requerimientos nutricionales del cafeto. La concentración de macroelementos en los diferentes compartimientos del cafeto (Tabla VI), alcanzó valores absolutos y un patrón de distribución para cada elemento muy similares entre los diferentes momentos de muestreo, con excepción quizás de los dos primeros muestreos que ocurren antes de que el cafeto esté en su fase netamente productiva y donde en algunos casos se alcanzaron valores superiores a los del resto.

Los resultados obtenidos no se diferencian mucho de los encontrados en plantaciones en condiciones de suelo, clima y manejo agrotécnico muy diferentes, pero muestreados en fechas similares (Rivera, 1988) y sugiere que están más determinados por el cultivo y su manejo nutricional que por cualquier otro factor, siendo entonces una información valiosa para cualquier sistema de estimación de requerimientos nutricionales.

Los requerimientos nutricionales acumulativos en el sistema aéreo (Tabla VII) muestran las altas necesidades de nutrientes del cafeto para garantizar rendimientos altos, con contenidos menores en la fase inicial de establecimiento de la plantación y que se incrementan fuertemente a partir del segundo año, cuando el cafeto se encuentra en su fase "productiva". No obstante ser menores las cantidades extraídas en el primer año, estas fueron del orden de 60 kg.ha^{-1} de N y K_2O, cantidades que de por sí no son despreciables.

Las necesidades de N y K_2O son similares en el primer año y a partir de entonces son ligeramente mayores las de potasio, asociadas con la producción del cafeto y los mayores contenidos de potasio que se encuentran en el grano.

Las relaciones internutrientes (N-P_2O_5-K_2O) fueron de 5.7-1-5.6 y de 7.35-1-7.70 para las fases de establecimiento de la plantación y productivas respectivamente, lo que indica la importancia relativa de los nutrientes en función de la etapa de la plantación, destacándose cómo las necesidades relativas de fósforo son mayores en el inicio y disminuyen en el tiempo.

Estos criterios, de forma general, son similares a los encontrados por diversos autores como Mehlich (1968), Cannell y Kimeu (1971), Correa, García y Costa (1986), Rivera y Mederos (1993) y responden ante todo a las características del cultivo siempre que se garantice una nutrición adecuada.

Son de destacar las altas cantidades de nutrientes que se encontraron en los granos del cafeto, alrededor del 53 % del N y P_2O_5 extraídos y 64 % del potasio correspondiente. El cafeto, de forma general presenta porcentajes de exportación similares para el N y P_2O_5 y superiores para el K_2O, siendo en este caso los valores obtenidos propios de plantaciones con altos rendimientos, según los criterios de Matiello (1987) y Rivera (1993), y precisamente corresponde a la situación que se presentó en estos experimentos (Tabla IV).

Tabla VI. Concentraciones medias de los macroelementos N, P, K (%) en los diferentes compartimientos del cafeto

	Nitrógeno					Fósforo					Potasio				
	15	29	36 meses	50	62	15	29	36 meses	50	62	15	29	36 meses	50	62
Hojas	2.99	3.05	2.80	2.79	2.75	0.16	0.19	0.13	0.14	0.14	2.17	2.38	2.10	1.93	1.90
Ramas lignificadas	1.38	1.25	0.88	1.22	1.35	0.22	0.19	0.08	0.08	0.07	1.28	1.16	0.89	1.05	1.16
Ramas verdes	2.01	1.57	1.28	1.79	1.69	0.14	0.18	0.10	0.12	0.19	1.82	1.95	2.02	2.17	1.83
Tallo lignificado	0.94	0.85	0.65	0.71	0.69	0.12	0.12	0.09	0.09	0.10	0.76	0.46	0.53	0.50	0.55
Tallos verdes	-	1.44	1.10	1.76	1.60	-	0.13	0.09	0.11	0.14	-	1.44	1.61	1.92	1.50
Hojas caídas	-	-	2.11	2.26	2.60	-	-	0.10	0.06	0.05	-	-	1.23	0.70	0.71
Frutos	-	2.27	2.50	2.42	2.15	-	0.16	0.15	0.14	0.14	-	2.38	2.55	2.45	2.25

Cada evaluación media de 12-14 plantas

Tabla VII. Requerimientos acumulativos* de N, P_2O_5 y K_2O ($kg.ha^{-1}$) de una plantación de cafeto con alta densidad de plantación

	Nitrógeno					P_2O_5					K_2O				
	15	29	36 mes	50	62	15	29	36 mes	50	62	15	29	36 mes	50	62
Hojas	44.3	76.8	111.7	150.9	111.4	5.5	11.4	11.9	17.0	12.0	42.0	84.9	91.2	123.7	92.3
Ramas	8.7	14.8	25.0	49.6	51.3	2.9	3.0	4.8	7.4	9.0	8.8	17.5	35.0	54.2	55.5
Tallo	8.9	12.7	22.8	39.1	43.9	2.5	4.1	7.3	11.5	13.7	9.7	11.9	26.9	34.9	41.6
Caída de hojas anual	-	-	28.5	65.0	82.7**	-	-	3.2	5.7	7.91**	-	-	20.0	35.3	59.7**
Caída hojas acumulativa	-	-	28.5	93.5	176.2**	-	-	3.2	8.9	16.8**	-	-	20.0	55.3	115.0**
Cosecha anual	-	50.0	123.5	150.5	100.0	-	7.6	17.2	19.8	14.9	-	63.2	163.4	190.0	135.8
Cosecha acumulativa	-	50.0	173.5	324.0	424.0	-	7.6	24.8	44.6	59.5	-	63.2	226.6	416.6	542.4
Sistema aéreo acumulativo	61.9	154.3	361.5	657.1	806.8	10.9	26.1	52.0	89.4	11.0	60.5	177.5	399.7	684.7	846.8

* cada evaluación media de 12-14 plantas
** incluye 1.7 t ramas (masa seca.ha^{-1})

Los requerimientos acumulativos obtenidos de 806,111 y 847 kg N, P_2O_5 y $K_2O.ha^{-1}$ respectivamente en un período de cinco años, incluyendo cuatro cosechas, fueron altos e indicativos de las exigencias del cultivo. Los mismos fueron superiores en un 15 %, excepto para el P_2O_5, que los informados por Rivera y Mederos (1993), correspondientes a un período similar en plantaciones sobre suelo Ferralítico Rojo y densidades de 5 000 plantas.ha^{-1}.

Los requerimientos o extracciones anuales (Figura 2) muestran, quizás de una forma más clara, las necesidades a partir de que el cafeto comienza a producir, alcanzándose valores importantes de hasta 225-270 $kg.ha^{-1}.año^{-1}$ para el N y el K_2O, y fuertemente relacionadas con el nivel de rendimiento obtenido para cualesquiera de los tres elementos (Figura 3).

Las extracciones y exportaciones anuales indican que el cafeto necesita de cantidades significativas de N y K_2O para garantizar altos rendimientos, siendo esta una información de primer orden para la definición de los sistemas de fertilización del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

A moderna cafeicultura nos cerrados, Instruccoes tecnicas sobre la cultura del cafe no Brasil. / J. R. Matiello... / *et al* /.- Campinas : Instituto Brasileiro do Cafe, 1987.- 148 p.

Camargo, A. P. Agrometeorology of the Coffee Crop. / A. P. Camargo, A. R. Pereira.- Campinas : Agronomic Institute of Campinas, 1989.- 102 p.

Cannel, M. G. R. y B. S. Kimeu. Uptake and Distribution of Macronutrients in Trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as Affected by Seasonal Climatic Differences and The Presence of Fruits. **Ann. Appl. Biol.** (Wellesborue)68:213-230, 1971.

Carvajal, J. F. Cafeto; cultivo y fertilización. / J. F. Carvajal.- Berna : Instituto Internacional de la Potasa, 1984.-264 p.

Correa, J. B. Extracao de nutrientes pelos cafeiros M. Novo e Catuai. / J. B. Correa, A. W. García, P. C. Costa.- **En**: CBPC, 13, Sao Lourenco, 1986.- p. 35.

Cortés, Sara L. Estudio de diferentes métodos para controlar el crecimiento y el desarrollo; su influencia en la producción de *Coffea arabica* / Sara Cortés.- Tesis de Grado (Dr. en Ciencias Agrícolas); INCA, 1984.

Cortés, Sara L. y F. Soto. Crecimiento de las plantas de cafeto (*C. arabica* L. var. Caturra) en cinco densidades de plantación en condiciones de montaña. I Parte. **Cultivos Tropicales** (La Habana)5(1):157-167, 1983.

Cuba. MINAGRI. Instrucciones técnicas para el cultivo del café y cacao.- La Habana, 1987.- 208 p.

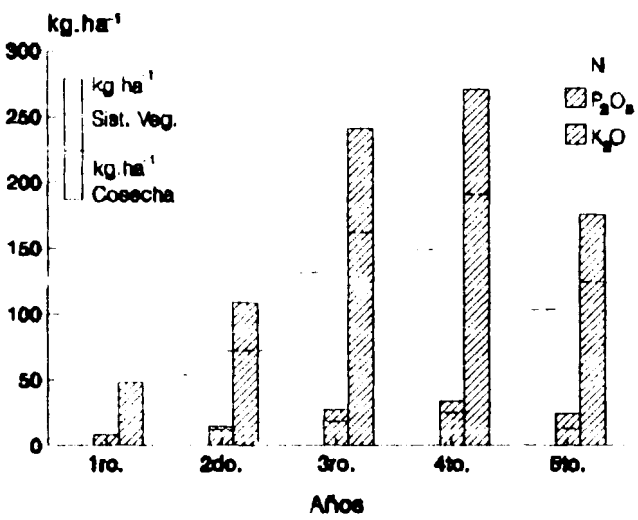


Figura 2. Requerimientos anuales de N, P_2O_5 y K_2O del cafeto

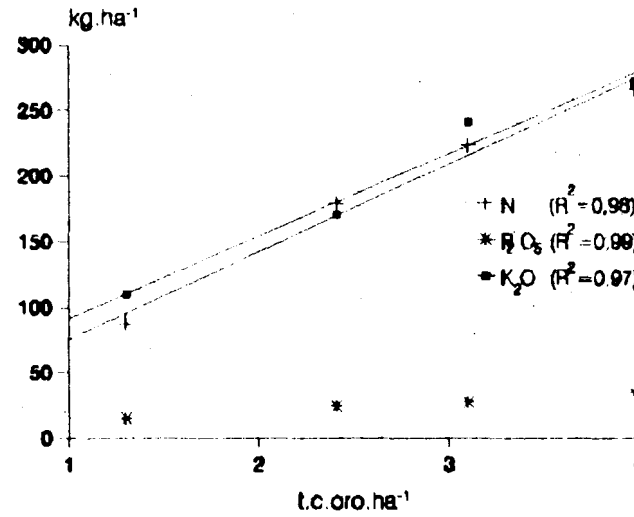


Figura 3. Relaciones entre las extracciones anuales y el nivel de rendimiento obtenido

Estructura y productividad del bosque siempre verde de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No. 1, 1974-1987. / Leda Menéndez.. / *et al* /.- La Habana : Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe,1988.- 212 p.

Kumar, O. Investigations into Some Aspects of High Density Planting of Coffee. **Kenya Coffee** (Nairobi)43(510):263-272, 1978.

Mehlich, A. Coffee Nutrition and the Possible Use of Compound Fertilizers in Kenya. **Kenya Coffee** (Nairobi)33:59-63, 1968.

Rena, A. B. Ecofisiología do Cafeiro / A. B. Rena, M. Maestri .- **En**: Ecofisiología da producao agrícola. Piracicaba : Associacao Brasileira de Potassa e do Fosfato, 1987.- p. 249.

Rivera, R. Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado (^{15}N) para el cafeto en un suelo Ferralítico Rojo compactado. / R. Rivera.- Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas); INCA, 1988.- 109 p.

Rivera, R. Densidad de plantación y aprovechamiento del fertilizante nitrogenado en el cultivo del cafeto, variedad Caturra, sobre suelo Ferralítico Rojo compactado. **Cultivos Tropicales** (La Habana)12(3):5-8, 1991.

Rivera, R. Crecimiento y producción de fitomasa de una plantación de cafeto a plena exposición solar sobre suelo Ferralítico Rojo compactado. **Cultivos Tropicales** (La Habana)13(2-3):60-68, 1992.

Rivera, R. La estimación de los requerimientos nutricionales del cafeto. **Cultivos Tropicales** (La Habana)14(1):28-34, 1993.

Rivera, R. y J. D. Mederos. Requerimientos de N, P y K de una plantación de cafeto var. Caturra a plena exposición solar, sobre suelo Ferralítico Rojo compactado. **Cultivos Tropicales** (La Habana)14(1):5-12, 1993.

Rivera, R. y Ofelia Sam. Estudio preliminar de la interacción crecimiento vegetativo, crecimiento del fruto y el estado nutricional en *Coffea arabica* L. (var. Caturra) a plena exposición solar. **Cultivos Tropicales** (La Habana)5(3):389-408, 1983.

Rojas, O. Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. / O. Rojas.- Turrialba : ICA, 1987.

Sistema de fertilización, abonamiento y enmiendas para plantaciones con altas densidades de plantación. / R. Rivera... / *et al* /.- Informe de etapa INCA, 1992.- 83 p.

Soto, F. y R. Rivera. Estudio de la correlación entre algunos parámetros de crecimiento del *Coffea arabica* L. var. Mundo Novo. **Ciencia y Técnica en la Agricultura. Café y Cacao** (La Habana)1(1-2):47-53, 1979.

Valencia, G. Relación entre el índice del área foliar y la productividad del cafeto. **Cenicafé** (Chinchina)24:79-89, 1973.

Recibido: 6 de octubre de 1993
Aceptado: 15 de octubre de 1993

CITOQUININAS PARA EL CULTIVO DE TEJIDOS

La técnica del cultivo de tejidos es imposible sin los reguladores del crecimiento. Las citoquininas, uno de los grupos de hormonas más utilizadas, actúan estimulando la división y diferenciación celular. Ellas pueden encontrarse de forma natural en las plantas u obtenerse por síntesis química.

El desarrollo ascendente de la biotecnología ha incrementado la demanda de estas hormonas. Por esta razón, en el INCA los investigadores se dieron a la tarea de obtener extractos de citoquininas. Los resultados han sido alentadores para la formación de callos de papa y tomate, lográndose callos de mayor tamaño y mejor consistencia, así como en la diferenciación de callos de tomate, donde se obtuvo un mayor número de brotes.

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
Subdirección de Desarrollo Técnico
Gaveta Postal No. 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba