

# EFFECTO DE LA FERTILIZACION CON N, P, K, A TRES NIVELES EN LA COMPOSICION MINERAL DE LAS HOJAS DEL CAFETO

Germán Valencia-Aristizábal \*  
Jaime Arcila-Pulgarín \*\*

## INTRODUCCION

De acuerdo con la revisión de la literatura que hizo Huerta (11), el análisis foliar se ha utilizado ampliamente para obtener en especial tres tipos de información: a) para corregir la fertilidad del suelo; b) para verificar el efecto de las aplicaciones de fertilizantes; c) para establecer la fórmula fertilizante.

El análisis químico de las hojas del café se puede utilizar para conocer el estado nutricional del cultivo, de donde nace la posibilidad de usar ese análisis para estimar sus necesidades de fertilización, lo cual viene a ser propiamente el denominado "diagnóstico foliar". Este diagnóstico interpretado correctamente, permite generalizar más los resultados de pruebas regionales, con disminución del empirismo en la selección de una fórmula fertilizante.

En cultivos perennes como el café, para una adecuada y práctica utilización del diagnóstico foliar, es necesario estudiar previamente épocas de muestreo de hojas para conocer la relación de esta composición foliar con la producción de café.

En el estudio que se presenta a continuación se quería conocer la influencia de la fertilización con N, P, K, en la composición mineral de las hojas del café según la época de muestreo y esta composición analizada en relación con la producción, con el fin de seleccionar una época oportuna de muestreo de hojas para establecer los correspondientes ajustes en la fertilización del cultivo y controlar el estado nutricional durante la vida de éste.

---

\* Jefe de la Sección de Fitofisiología del Centro Nacional de Investigaciones de Café -CENICAFE- Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\* Asistente de la Sección de Fitofisiología del Centro Nacional de Investigaciones de Café -CENICAFE- Chinchiná, Caldas, Colombia.

## MATERIALES Y METODOS

La Sección de Café del Centro Nacional de Investigaciones de Café, elaboró un experimento de fertilización con N, P, K a tres niveles (factorial de  $3^3$ ) con un total de 27 tratamientos y dos replicaciones (24). En el proyecto experimental se consideraba a cargo de la Sección de Fisiología Vegetal, el plan de muestreo de hojas para su análisis químico y su correspondiente estudio.

Como ya se había determinado previamente en esta Sección el par de hojas a muestrear, Huerta (12), se tomaron muestras compuestas formadas por los cuartos pares de los árboles efectivos de cada parcela al tiempo de efectuarse la aplicación de los tratamientos fertilizantes, en seis localidades ubicadas en diferentes regiones cafeteras del país. La aplicación de los tratamientos se efectuó cada dos meses y medio.

Los tratamientos fueron los siguientes:

1.- $N_0 P_0 K_0$	10.- $N_1 P_0 K_0$	19.- $N_2 P_0 K_0$
2.- $N_0 P_0 K_1$	11.- $N_1 P_0 K_1$	20.- $N_2 P_0 K_1$
3.- $N_0 P_0 K_2$	12.- $N_1 P_0 K_2$	21.- $N_2 P_0 K_2$
4.- $N_0 P_1 K_0$	13.- $N_1 P_1 K_0$	22.- $N_2 P_1 K_0$
5.- $N_0 P_1 K_1$	14.- $N_1 P_1 K_1$	23.- $N_2 P_1 K_1$
6.- $N_0 P_1 K_2$	15.- $N_1 P_1 K_2$	24.- $N_2 P_1 K_2$
7.- $N_0 P_2 K_0$	16.- $N_1 P_2 K_0$	25.- $N_2 P_2 K_0$
8.- $N_0 P_2 K_1$	17.- $N_1 P_2 K_1$	26.- $N_2 P_2 K_1$
9.- $N_0 P_2 K_2$	18.- $N_1 P_2 K_2$	27.- $N_2 P_2 K_2$

$N_0 = 0 \text{ Kg N/Ha}$

$P_0 = 0 \text{ Kg } P_2 O_5/\text{Ha}$

$K_0 = 0 \text{ Kg } K_2 O/\text{Ha}$

$N_1 = 120 \text{ Kg N/Ha}$

$P_1 = 120 \text{ Kg } P_2 O_5/\text{Ha}$

$K_1 = 120 \text{ Kg } K_2 O/\text{Ha}$

$N_2 = 240 \text{ Kg N/Ha}$

$P_2 = 240 \text{ Kg } P_2 O_5/\text{Ha}$

$K_2 = 240 \text{ Kg } K_2 O/\text{Ha}$

Las fuentes de fertilizante fueron:

Para Nitrógeno el sulfato de amonio, para Fósforo el superfosfato triple, y para Potasio el sulfato de potasio.

Se recibieron muestras de hojas de seis sitios donde se había localizado el ensayo (Cenicafé, Naranjal, Granjas, Paraguaicito, Piamonte y El Rosario). Para los análisis ma-



temáticos se contó con un total de 55 muestreos distribuídos en: 24 - 4 - 15 - 4 - 5 - 2, para cada una de las localidades mencionadas en su orden.

En cada muestreo se efectuaron las determinaciones de ocho elementos (23.760 determinaciones en total).

Las variedades utilizadas en las diferentes localidades fueron: Caturra en Cenicafé, Paraguaicito, El Rosario y Piamonte, y Borbón en Naranjal y Granjas.

Los análisis químicos se realizaron en la Sección de Química Agrícola, según los siguientes métodos:

Nitrógeno: Kjeldahl

Boro: Acido carmínico

Fósforo: Molibdo vanadato de amonio

K - Ca - Mg - Fe - Mn: Absorción atómica

## RESULTADOS

**Variación de la composición mineral foliar por efecto de la fertilización.**

El análisis matemático de la variación de los contenidos de nutrientes minerales en las hojas por efecto de la fertilización con NPK, reveló los siguientes resultados:

**Ensayo de Cenicafé (Tabla 1).**

La aplicación de Nitrógeno al suelo afectó en forma lineal altamente significativa todos los elementos analizados en las hojas, así: aumento de nitrógeno, de magnesio y manganeso y disminución de fósforo, de potasio, de calcio, de hierro y de boro.

Con la aplicación de fósforo al suelo, aumentó lineal y significativamente el manganeso, pero el fósforo foliar solo al quinto año aumentó linealmente.

Con las aplicaciones de potasio al suelo, hubo efecto lineal altamente significativo, positivo para el potasio y negativo para el magnesio en las hojas.

**Ensayo de Granjas (Tabla 2).**

Con las aplicaciones de nitrógeno al suelo, hubo efecto lineal y altamente significativo, positivo para nitrógeno y para manganeso y negativo para fósforo y para boro en las hojas.

**TABLA 1.- INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION CON TRES NIVELES DE NITROGENO, DE FOSFORO Y DE POTASIO EN LA COMPOSICION MINERAL DE LA HOJA DE CAFE Y EN LA PRODUCCION DE CAFE. PROMEDIOS DE 5 AÑOS (24 MUESTREOS). CENICAFE.**

Elementos	Tratamientos								
	N <sub>0</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>240</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>240</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>120</sub>	K <sub>240</sub>
Nitrógeno ‰	2.33	2.51	2.69	2.51	2.51	2.50	2.54	2.49	2.49
Fósforo ‰	0.185	0.149	0.140	0.154	0.157	0.163	0.158	0.158	0.158
Potasio ‰	2.19	1.80	1.51	1.82	1.81	1.86	1.49	1.94	2.06
Calcio ‰	1.16	1.11	1.07	1.06	1.14	1.14	1.15	1.11	1.08
Magnesio ‰	0.39	0.46	0.52	0.49	0.45	0.43	0.57	0.42	0.39
Manganeso ppm	161	223	238	202	204	218	216	208	200
Hierro ppm	177	153	137	156	150	158	145	158	164
Boro ppm	65	48	44	53	51	53	53	52	52
Producción *									
Tomado de (24)	141	401	448	335	336	338	319	337	334

\* Arrobas de café pergamino seco por hectárea por año.

**TABLA 2.- INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION CON TRES NIVELES DE NITROGENO, DE FOSFORO Y DE POTASIO, EN LA COMPOSICION MINERAL DE LA HOJA DE CAFE Y EN LA PRODUCCION DE CAFE. PROMEDIOS DE 5 AÑOS (15 MUESTREOS). GRANJAS.**

Elemento	Tratamientos								
	N <sub>0</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>240</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>240</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>120</sub>	K <sub>240</sub>
Nitrógeno ‰	2.17	2.30	2.45	2.34	2.31	2.31	2.32	2.32	2.32
Fósforo ‰	0.195	0.166	0.157	0.163	0.179	0.179	0.173	0.172	0.176
Potasio ‰	1.98	1.98	1.84	1.94	1.89	1.95	1.58	2.06	2.16
Calcio ‰	1.26	1.27	1.27	1.26	1.24	1.31	1.05	1.27	1.22
Magnesio ‰	0.41	0.44	0.51	0.45	0.47	0.44	0.53	0.42	0.42
Manganeso ppm	129	197	193	192	162	166	191	159	169
Hierro ppm	174	95	92	175	91	96	168	95	95
Boro ppm	62	56	57	58	59	58	59	59	58
Producción *									
Tomado de (24)	156	255	279	250	226	237	202	272	241

\* Arrobas de café pergamino seco por hectárea por año.



Con la aplicación de fósforo al suelo, aumentó el fósforo en la hoja en forma lineal y apenas significativamente.

Con el potasio aplicado al suelo, aumentó el potasio y disminuyó el magnesio en las hojas, ambos con tendencia lineal altamente significativa.

#### **Ensayo de Paraguaicito (Tabla 3).**

Como consecuencia de las aplicaciones de nitrógeno, hubo aumento del nitrógeno y del magnesio en la hoja y disminución del fósforo; el potasio y el boro. En ambos casos el efecto fue de tendencia lineal y altamente significativo.

#### **Ensayo de Piamonte (Tabla 4).**

Al aumentar las aplicaciones de nitrógeno al suelo hubo en las hojas aumento del nitrógeno y del manganeso y disminución del calcio y del boro, todos con tendencia lineal altamente significativa.

Al aplicar fósforo al suelo, aumentó el fósforo en las hojas en forma lineal y significativa al nivel del 50/o.

Al aplicar potasio al suelo hubo efecto lineal altamente significativo en las hojas, positivo para potasio y negativo para magnesio.

#### **Ensayo de Naranjal (Tabla 5).**

En las hojas aumentó el contenido de nitrógeno y de manganeso y disminuyó el de fósforo, todos en forma altamente significativa, por efecto de las aplicaciones de nitrógeno al suelo.

Al aplicar fósforo al suelo hubo aumento del fósforo y del manganeso en las hojas. Este aumento fue lineal significativo al nivel del 50/o de probabilidad.

El potasio y el magnesio en las hojas se comportaron como en los otros lotes al aplicar potasio al suelo.

#### **Ensayo de El Rosario (Tabla 6).**

Al aplicar nitrógeno al suelo aumentó el nitrógeno y disminuyó el boro en las hojas en forma lineal altamente significativa.

TABLA 3.- INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION CON TRES NIVELES DE NITROGENO, DE FOSFORO Y DE POTASIO, EN LA COMPOSICION MINERAL DE LA HOJA DE CAFE Y EN LA PRODUCCION DE CAFE. PROMEDIOS DE 5 AÑOS (4 MUESTREOS), PARA-GUAICITO.

Elemento	Tratamientos								
	N <sub>0</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>240</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>240</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>120</sub>	K <sub>240</sub>
Nitrógeno ‰	2.74	2.85	2.97	2.84	2.86	2.86	2.86	2.86	2.85
Fósforo ‰	0.152	0.142	0.133	0.145	0.141	0.141	0.142	0.147	0.143
Potasio ‰	2.00	1.94	1.90	1.91	1.96	1.97	1.94	1.94	1.97
Calcio ‰	1.00	0.92	0.92	0.98	0.93	0.93	0.95	0.98	0.92
Magnesio ‰	0.31	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32
Manganeso ppm	219	325	280	252	278	284	266	256	291
Hierro ppm	233	235	224	229	229	230	227	232	228
Boro ppm	53	47	42	51	46	46	48	48	47
Producción * Tomado de (24)	330	442	481	425	410	416	406	479	427

\* Arrobas de café pergamino seco por hectárea por año.

TABLA 4.- INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION CON TRES NIVELES DE NITROGENO, DE FOSFORO Y DE POTASIO, EN LA COMPOSICION MINERAL DE LA HOJA DE CAFE Y EN LA PRODUCCION DE CAFE. PROMEDIOS DE 4 AÑOS (5 MUESTREOS), PIA-MONTE.

Elemento	Tratamientos								
	N <sub>0</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>240</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>240</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>120</sub>	K <sub>240</sub>
Nitrógeno ‰	2.26	2.50	2.54	2.46	2.43	2.46	2.50	2.41	2.43
Fósforo ‰	0.168	0.155	0.155	0.142	0.168	0.169	0.164	0.161	0.154
Potasio ‰	1.28	1.07	1.07	1.09	1.17	1.16	0.80	1.23	1.40
Calcio ‰	1.16	1.02	0.95	0.99	1.08	1.06	1.00	1.08	1.07
Magnesio ‰	1.01	1.06	0.99	1.03	1.03	1.00	1.20	0.97	1.11
Manganeso ppm	278	464	592	471	430	432	490	424	427
Hierro ppm	131	119	186	143	152	141	142	145	151
Boro ppm	68	61	58	61	65	62	63	65	60
Producción * Tomado de (24)	56	79	82	72	68	76	50	79	89

\* Arrobas de café pergamino seco por hectárea por año.



TABLA 5.- INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION CON TRES NIVELES DE NITROGENO, DE FOSFÓRO Y DE POTASIO, EN LA COMPOSICION MINERAL DE LA HOJA DE CAFE Y EN LA PRODUCCION DE CAFE. PROMEDIOS DE 5 AÑOS (4 MUESTREOS),NARANJAL.

Elemento	Tratamientos								
	N <sub>0</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>240</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>240</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>120</sub>	K <sub>240</sub>
Nitrógeno ‰	2.41	2.55	2.61	2.46	2.48	2.57	2.52	2.51	2.54
Fósforo ‰	0.119	0.106	0.102	0.102	0.112	0.112	0.109	0.111	0.107
Potasio ‰	1.60	1.30	1.24	1.46	1.36	1.32	1.02	1.46	1.65
Calcio ‰	1.06	0.95	1.00	0.96	1.02	1.04	1.12	0.94	0.92
Magnesio ‰	0.41	0.44	0.43	0.41	0.43	0.44	0.54	0.39	0.36
Manganeso ppm	153	193	239	177	192	216	190	200	196
Hierro ppm	151	140	130	135	146	140	133	140	148
Boro ppm	59	52	49	52	56	52	60	50	50
Producción * Tomado de (24)	293	332	341	295	330	342	234	343	388

\* Arrobas de café pergamino seco por hectárea por año.

TABLA 6.- INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION CON TRES NIVELES DE NITROGENO, DE FOSFORO Y DE POTASIO, EN LA COMPOSICION MINERAL DE LA HOJA DE CAFE Y EN LA PRODUCCION DE CAFE. PROMEDIOS DE 4 AÑOS (3 MUESTREOS). ROSARIO.

Elemento	Tratamientos								
	N <sub>0</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>240</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>240</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>120</sub>	K <sub>240</sub>
Nitrógeno ‰	2.55	2.77	2.77	2.67	2.74	2.68	2.72	2.69	2.68
Fósforo ‰	0.112	0.113	0.104	0.097	0.117	0.116	0.105	0.116	0.108
Potasio ‰	0.86	0.90	0.69	0.78	0.81	0.86	0.46	0.91	1.08
Calcio ‰	2.10	1.63	1.75	1.90	1.74	1.84	1.92	1.85	1.70
Magnesio ‰	0.65	0.57	0.61	0.60	0.60	0.62	0.70	0.57	0.56
Manganeso ppm	531	611	671	613	564	634	599	630	580
Hierro ppm	200	213	190	206	201	194	190	200	212
Boro ppm	70	51	53	58	55	61	66	58	51
Producción * Tomado de (24)	222	265	281	243	245	280	145	300	324

\* Arrobas de café pergamino seco por hectárea por año.

Al aplicar potasio al suelo, únicamente aumentó en forma lineal altamente significativa el potasio foliar.

Se observa que en Paraguaicito y El Rosario no hubo efecto en la hoja por las aplicaciones de fósforo al suelo.

En Paraguaicito no se encontró efecto del potasio y en El Rosario, la aplicación de potasio al suelo no disminuyó el magnesio en la hoja.

En el conjunto de las seis localidades (Tabla 7), el nitrógeno se reveló como el elemento que más influía en la composición mineral de las hojas: al aumentar la cantidad de nitrógeno aplicado al suelo hubo aumento lineal y altamente significativo de nitrógeno y de manganeso en la hoja en el 89<sup>o</sup>/<sub>o</sub> y en el 60<sup>o</sup>/<sub>o</sub> de los muestreos, respectivamente, y hubo disminución lineal altamente significativa de fósforo y de boro en el 73<sup>o</sup>/<sub>o</sub> y en el 60<sup>o</sup>/<sub>o</sub> de los muestreos respectivamente.

Por efecto de las aplicaciones de fósforo al suelo, solo en el 20<sup>o</sup>/<sub>o</sub> de los casos hubo aumento significativo y lineal del fósforo en la hoja.

Por la aplicación de potasio al suelo, en el 78<sup>o</sup>/<sub>o</sub> de los casos, hubo aumento lineal y altamente significativo del potasio en la hoja y disminución lineal altamente significativa de magnesio en la hoja, en el 60<sup>o</sup>/<sub>o</sub> de los muestreos realizados.

#### **Correlaciones entre composición mineral foliar y producción de café.**

Para facilitar el estudio de la relación entre la producción y la composición mineral foliar, los muestreos se clasificaron según la fase de desarrollo del cultivo en que fueron efectuados así: floración, "mitaca" (4 a 6 meses antes de la cosecha principal), principio de cosecha, cosecha, poscosecha.

Se hicieron correlaciones simples de los contenidos de cada uno de los elementos minerales en cada muestreo, con los registros de cosecha del mismo año del muestreo y con los registros de cosecha del año siguiente.

Se encontró que la correlación de elementos en la hoja con la producción del año siguiente, no se justifica y que desde un punto de vista práctico, con el fin de corregir oportunamente un deficiente estado nutricional en el cultivo, debe efectuarse el muestreo de hojas respectivo, en la época de "mitaca" o cosecha secundaria.

En el ensayo de Cenicafé los elementos minerales de la hoja de café que mostraron mayor número de veces un valor de  $r$  superior a 0.4933, altamente significativo en la producción,



TABLA 7.- INFLUENCIA DE LAS APLICACIONES DE N, DE P Y DE K EN EL CONTENIDO DE MINERALES DE LAS HOJAS DEL CAFETO EN VARIAS LOCALIDADES.

Nutriente al suelo	Localidad	Composición foliar							
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	B
N	Cenicafé	++	--	--	--	++	++	--	--
	Granjas	++	--				++		--
	Paraguaicito	++	--	--		++			--
	Piamonte	++			--		++		--
	Naranjal	++	--				++		
	Rosario	++							--
P	Cenicafé		+				+		
	Granjas		+						
	Paraguaicito								
	Piamonte		+						
	Naranjal		+				+		
	Rosario								
K	Cenicafé			++		--			
	Granjas			++		--			
	Paraguaicito								
	Piamonte			++		--			
	Naranjal			++		--			
	Rosario								

- ++ Efecto altamente significativo y positivo
- Efecto altamente significativo y negativo
- + Efecto positivo y significativo al 50/0

fueron: el nitrógeno, el manganeso, el fósforo y el boro; los dos primeros están positivamente correlacionados con la producción y los otros dos lo están negativamente. Los demás elementos no mostraron una definida relación con la producción.

Debe anotarse que en el análisis individual de los tratamientos, se encontró que las menores producciones de café, correspondieron a aquellos tratamientos que no contenían nitrógeno.

Como en Cenicafé fue donde se obtuvo la mayor cantidad de registros y durante más tiempo, con éstos se efectuaron otros análisis adicionales, los cuales se relacionan a continuación.

TABLA 8.- ECUACIONES DE REGRESION DEL RENDIMIENTO DE UN AÑO EN FUNCION DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE N - P - K - Ca - Mg - Mn - Fe y B, EN EL MISMO AÑO. MUESTREOS DE EPOCA DE "MITACA". CENICAFE.

Epoca	E C U A C I O N E S										r <sup>2</sup>								
Mayo 1969	Y =	- 5.6367	+	2.8685N	-	51.878 P	+	11.121 K	-	1.532 Ca	+	46.958 Mg	+	0.00943Mn	+	0.0105Fe	-	0.0978B	0.8620
Mayo 1970	Y =	-53.2449	+	17.4019N	-	81.4286P	+	27.2437K	-	43.5447Ca	+	82.2648Mg	+	0.2165 Mn	+	0.0290Fe	+	0.3948B	0.6872
Junio 1971	Y =	48.0896	-	2.0911N	-	148.1248P	+	37.0881K	+	6.1218Ca	-	9.1617Mg	+	0.1384 Mn	-	0.0628Fe	-	0.1122B	0.8951
Abril 1972	Y =	119.6667	+	14.8767N	-	309.9639P	+	8.6072K	-	8.1240Ca	-	33.2935Mg	+	0.0442 Mn	-	0.074 Fe	-	0.211 B	0.9192
Junio 1973	Y =	63.5599	+	5.0089N	-	130.0222P	+	1.9006K	+	18.6602Ca	-	37.2673Mg	+	0.1159 Mn	-	0.0757Fe	-	0.2645B	0.9126

TABLA 9.- ECUACIONES DE REGRESION MULTIPLE DEL RENDIMIENTO DE UN AÑO EN FUNCION DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE N - P - K - Mg - Mn - B EN EL MISMO AÑO. MUESTREOS DE EPOCA DE "MITACA". CENICAFE.

Epoca	E C U A C I O N E S										r <sup>2</sup>			
Mayo 1969	- 16.7238	+	17.6392N	-	209.2634P	+	7.4240K	+	28.1039Mg	+	0.0780Mn	-	1.1915B	0.90
Mayo 1970	- 31.5603	+	21.4420N	-	350.8687P	+	15.4397K	-	11.9917Mg	+	0.0691Mn	+	0.2911B	0.46
Junio 1971	6.6830	+	39.9548N	-	164.0645P	-	5.1459K	-	46.5111Mg	+	0.1226Mn	-	0.5678B	0.88
Abril 1972	- 1.1427	+	16.2827N	-	153.1685P	+	0.5784K	-	20.7303Mg	+	0.1099Mn			0.89
Junio 1972	56.9915	+	5.0377N	-	253.2979P	-	0.5930K	-	23.6595Mg	+	0.1202Mn	-	0.1433B	0.92



Los coeficientes de correlación entre los elementos minerales en la hoja fueron significativos en algunos casos; las relaciones más importantes y más constantes fueron:

- P y B negativamente correlacionados con N y Mn.
- K y Fe negativamente correlacionados con N, Mn y Mg.
- P y B positivamente correlacionados con Ca y Fe.

En los análisis de regresión múltiple (lineal), de la producción de café en un año, en función de los contenidos foliares de los elementos minerales en el mismo año, se presentan varios casos para Cenicafé, los cuales se ajustan a una ecuación polinomial del tipo:

$Y = a + bx + cw + \dots$  en la que  $y$  = respuesta en producción y,  $x$  y  $w$  = contenido de los elementos minerales analizados en las hojas.

Las ecuaciones de regresión para los muestreos de la época de "mitaca" (abril - mayo - junio) en cinco años de registros con su respectivo coeficiente de determinación  $r^2$ , aparecen en la Tabla 8. Este coeficiente indica qué porcentaje de la producción es debido a las variables independientes. Se acepta un  $r^2$  superior a 0,71.

Al excluir el Ca y el Fe en las ecuaciones de regresión, se obtuvieron las que aparecen en la tabla 9.

#### **Contenido "normal" de nutrientes minerales en las hojas.**

Los valores de los contenidos de minerales en las hojas, para muestreos efectuados entre los cuatro y los seis meses antes de la cosecha y correspondientes a producciones de 220 arrobas o más de café pergamino seco por hectárea y por año, se dan en la tabla 10. Estos valores pueden tenerse como "normales" para las máximas producciones de café, al considerar todas las cosechas, para cada una de las localidades y sus respectivos análisis foliares.

Como hechos u observaciones que conviene señalar por excepcionales son: alto contenido foliar de magnesio en muestras de Piamonte y el elevado tenor de manganeso en muestras de Piamonte y del Rosario.

## **DISCUSION**

#### **La fertilización en relación con el contenido foliar de nutrientes.**

La respuesta a la aplicación de los nutrientes N - P - K en los suelos de las distintas localidades en que se hizo el experimento, manifestada por el contenido de elementos mine-

TABLA 10.- CONTENIDO "NORMAL" DE MINERALES EN LA HOJA, CORRESPONDIENTE A PRODUCCIONES DE 220 O MAS ARROBAS DE CAFE PERGAMINO POR HECTAREA POR AÑO.

Elemento	Nivel en la hoja en base seca*	Producción respectiva arrobas c.p.s/Ha/año*
Nitrógeno	2.30 - 2.80 ‰	304 - 364
Fósforo	0.10 - 0.18 ‰	395 - 221
Potasio	1.50 - 2.00 ‰	395 - 270
Calcio	0.50 - 1.30 ‰	395 - 221
Magnesio	0.30 - 0.40 ‰	395 - 265
Manganeso	150 - 220 ppm	395 - 265
Hierro	90 - 140 ppm	221 - 265
Boro	40 - 60 ppm	395 - 364

\* Valores obtenidos al considerar toda la información de las diferentes localidades.

TABLA 11.- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS, EN LOS CUALES SE REALIZARON LOS ENSAYOS (TOMADO DE URIBE & MESTRE (24)).

Lugar	Textura	Ca	Mg	K	MO	P	N	pH
		me/100 g			‰	ppm	‰	
Hacienda Naranjal	Franco arenoso	0.9	0.9	0.22	13.1	11	0.634	5.6
Cenicafé	Franco	3.3	2.3	0.34	6.6	25	0.379	4.8
Subestación Paraguaicito	Franco arenoso	5.2	2.1	0.61	6.6	12	0.395	5.4
Subestación El Rosario	Franco	2.0	1.6	0.14	13.8	8	0.528	4.0
Hacienda Piamonte	Franco arcilloso	5.1	5.1	0.17	5.5	10	0.302	4.9
Hacienda Granjas	Franco arenoso	12.3	4.4	0.57	16.3	4	0.867	5.1



rales en las hojas, no fue similar en todos los sitios y esas diferencias no encuentran adecuada explicación en las características físicas y químicas de los suelos respectivos, según la tabla 11 tomada de Uribe & Mestre (24), y que corresponde a determinaciones hechas en un muestreo único de cada suelo. Es posible que haya ocurrido una acidificación, como la que refieren Valencia et al (25), al aplicar diferentes portadores de nitrógeno, con lo cual se incrementa el aluminio intercambiable y puede llegar a afectarse la nutrición de la planta, especialmente en lo relacionado con el fósforo.

Con los análisis disponibles no queda claro el por qué en Paraguaicito y en El Rosario no hubo ninguna influencia en las hojas por las aplicaciones de P al suelo y el contenido en este es inferior al de Cenicafé, en donde sí hubo aumento del P foliar. Esta situación no coincide con las anotaciones de Loué (13), de que los análisis foliares reflejan las aplicaciones de los fertilizantes cuando éstos se encuentran en el suelo en poca cantidad.

En Granjas y en Paraguaicito con contenidos similarmente altos de potasio, hubo distinta influencia en la hoja por las aplicaciones de este nutriente al suelo.

En el Rosario, Naranjal y Granjas, con los contenidos más altos de materia orgánica, las aplicaciones de nitrógeno influyeron menos en el contenido de minerales en la hoja, que en otras localidades con bajo nivel de materia orgánica en el suelo.

Estos resultados están de acuerdo con las conclusiones del estudio de Aduayi (1), quien dice que aparentemente no hay un nivel fijo de nutrientes que puedan servir como guía absoluta de fertilización para todos los suelos cafeteros, pues cada uno tiene su propio nivel de fertilidad y este fluctúa con cambios ambientales, químicos y biológicos.

Loué (13), obtuvo respuestas diferentes a N, a P y a K, tal como ocurrió en los resultados que acaban de presentarse.

Del análisis general de las seis localidades se ve que el nitrógeno es el elemento que más refleja en la hoja la aplicación que de él se hace al suelo; le sigue en importancia el potasio y por último el fósforo.

Con las aplicaciones de nitrógeno al suelo aumentaron el N y el Mn en la hoja y disminuyeron el P y el B; con aplicaciones de potasio al suelo aumentó el K y disminuyeron el Ca y el Mg en las hojas; y con aplicaciones de P al suelo aumentaron el P y el Mn foliares. Estos resultados parcialmente coinciden con los que traen algunas referencias bibliográficas. Así por ejemplo, se relatan casos de disminución de P foliar con el aumento de N en la hoja (9, 10); Smith (22), agrega, que de varias partes del mundo ha sido ampliamente reportada la disminución de P foliar resultante de un incremento en el suministro de N.



Mellich (16), anota, que con aplicaciones de N disminuyen P, pH, K, Ca, Mg en el suelo. Espinosa (10), encontró que al aumentar la acidez del suelo con úrea o compuestos amoniacales se elevó el Mn foliar, lo cual puede ser una explicación parcial de los resultados obtenidos con el Mn en el trabajo que se discute.

Nagai et al (17), encontraron correlación negativa en N y B y entre K y Mg y positiva entre N y P en las hojas del cafeto; Pérez (18), dice que el boro muestra una tendencia a disminuir la producción de café.

Samuels & Capo (21), anotan que la aplicación de N al suelo no afecta la concentración de P, ni de K, ni de Ca en la hoja, la adición de K hizo más bajas las concentraciones de N y de Ca en la hoja.

Huerta (11), encontró también que los contenidos foliares de Ca y de Mg, disminuyeron con el aumento del nivel potásico.

#### **Contenido foliar de nutrientes en relación con la producción.**

La selección de la época de muestreo de hojas que se hizo para que permitiera conocer oportunamente el estado nutricional de la planta, coincide parcialmente con la recomendación de Machado (14), quien dice que la recolección de muestras debe hacerse un mes antes o un mes después de la floración para la cosecha principal.

Del contenido foliar de nutrientes en la época señalada para el muestreo, los elementos que más consistentemente mostraron relación con la producción con un valor de altamente significativo, fueron el nitrógeno y el manganeso, positivamente, y el fósforo y el boro negativamente. Estos mismos elementos fueron los más influenciados en la hoja por la fertilización con nitrógeno. Aquellos resultados concuerdan solo parcialmente con algunos informes encontrados en la literatura.

Raju & Subramanian (19), anotan que los contenidos foliares de N y de P reflejan satisfactoriamente los rendimientos del cafeto. Rodríguez et al (20), informan que solo se encontró relación entre el rendimiento de café y el contenido de K en las hojas.

Bénac (5), encontró en plantaciones bajo sombra, relación positiva y significativa entre la producción de café y los contenidos foliares de N en la época de floración. La relación de aquella con los contenidos de P y de K en las hojas no fue consistente. Para la misma época de floración, los niveles foliares de Ca y de Mg se relacionan inversamente con la producción de café.



Espinosa (10), encontró que la mayor concentración de nitrógeno está correlacionada con la producción.

Las ecuaciones de regresión de la producción de café sobre los contenidos de minerales foliares, y los valores de  $r^2$  presentados en las tablas 8 y 9 podrían mejorarse para calcular la producción de café con gran precisión, utilizando, solamente, los valores de N, P, Mn y B que fueron los que más consistentemente se relacionaron con aquella.

El hecho de que estos mismos elementos (N, P, Mn, B) fueron los que más se afectaron en la hoja por las aplicaciones de nitrógeno, relleva la importancia de controlar las aplicaciones de este, pues con ellas aumenta el N y Mn, y disminuyen el P y el B en las hojas.

#### Contenido "normal" de nutrientes minerales en las hojas.

Se quería definir la zona de nutrición óptima, según los análisis foliares, en la cual la producción de café fuera la máxima aún en diferentes condiciones de clima y suelo.

En la tabla 12 se comparan los contenidos "normales" de minerales obtenidos en el presente estudio, con los de la bibliografía; allí se pueden apreciar cómo los niveles obtenidos correspondientes a las producciones más altas, están muy cercanos a los que se recopilaron de la literatura; de éstos solo se apartan un poco el que trae Bénac (5) para el nivel de nitrógeno y de potasio, así como los valores que dan Bénac (5) y Southern (23), para magnesio; Malavolta (15), presenta un valor muy bajo para manganeso. Estas diferencias pueden deberse en parte a los distintos métodos de análisis utilizados.

De todo lo anterior se desprende que desde un punto de vista práctico, es útil conocer oportunamente el estado nutricional del cafetal mediante un muestreo de hojas en la época de la cosecha secundaria (mitaca) y efectuar la fertilización necesaria para llevar la plantación a un equilibrio como el que se obtuvo en el presente trabajo. Para ésto debe tenerse en cuenta que el potasio aplicado al suelo induce disminución de los niveles del calcio y magnesio en las hojas y que el nitrógeno aplicado al suelo aumenta en las hojas el nitrógeno y el manganeso y disminuye los valores de fósforo y de boro. Por otra parte, en estudios de fertilización no debe descuidarse lo relacionado con la calidad de la bebida, puesto que aunque parece que las frecuentes aplicaciones de fósforo no se justifican, existen trabajos (2) en que se demuestra que la calidad de la bebida es perjudicada por la falta de fósforo en la fertilización, y trabajos (4) en los cuales se obtuvo una correlación negativa entre el nivel de nitrógeno y la calidad. Además, en Kenya (8), el uso continuo de nitrógeno afecta la calidad de la bebida y en Brasil Amorim (3), anota que la adición de nitrógeno y de potasio aumentan el contenido de estos elementos en el grano y perjudican la calidad de la bebida.

TABLA 12.- NIVELES "NORMALES" DE NUTRIENTES MINERALES EN HOJAS DE *COFFEA ARABICA* PARA DIFERENTES PAISES.

Referencia	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	Mn ppm	B ppm
Southern (23) (Nueva Guinea)	2.6 - 3.0	0.13 - 0.19	1.8 - 2.6	0.6 - 1.6	0.4 - 0.7	-	-
Machado (14) (Colombia)	2.5 - 3.0	0.11 - 0.15	1.5 - 1.8	0.7 - 1.3	0.35	200	-
Chaverri et al (6) (Costa Rica)	2.3 - 2.8	0.12 - 0.20	1.7 - 2.7	1.1 - 1.7	0.20 - 0.35	50 - 150	60 - 100
Bénac (5) (Cameroun)	4.0	0.20	2.8	1.0	0.50	-	-
Culot (7) (Kivu)	3.0	0.20	1.8	1.10	0.20	-	-
Malavolta (15) (Brasil)	3.0	0.21	1.73 - 1.90	1.0	0.24 - 0.25	51	77
Presente estudio (Colombia)	2.3 - 2.8	0.10 - 1.8	1.5 - 2.0	0.50 - 1.30	0.30 - 0.40	150 - 220	40 - 60



Esto quiere decir, por ejemplo, que si una de las aplicaciones de fertilizantes se efectúa aproximadamente en febrero (dos meses antes de la maduración de la "mitaca"), mediante el análisis de hojas recolectadas en abril o mayo se puede ver la necesidad o no de efectuar reajustes en la fertilización.

## RESUMEN

Se utilizó un experimento de fertilización radical con N, P, K, cada uno en tres niveles (0 - 120 - 240 kilogramos por hectárea), con el fin de conocer la influencia de dichos tratamientos, en la composición mineral de las hojas del cafeto y la relación de esta composición con la producción de café. El experimento se instaló en seis localidades de la zona cafetera colombiana y se utilizó también para seleccionar una época de muestreo de hojas con el fin de establecer los correspondientes y oportunos ajustes en la fertilización.

La respuesta del contenido foliar de nutrientes a los tratamientos fue diferente en todos los sitios en que se realizó el estudio y esas diferencias no encuentran adecuada explicación en las características físicas y químicas de los suelos respectivos.

El nitrógeno aplicado al suelo fue el elemento que más influyó en la composición mineral de las hojas. Los elementos más afectados por dichas aplicaciones fueron N, P, Mn y B. Estos mismos elementos fueron los más relacionados con la producción de café.

Se encontró que entre 4 y 6 meses antes de la cosecha principal ("mitaca"), es la época adecuada para efectuar el muestreo de hojas con el fin de realizar ajustes oportunos de fertilización.

Se encontraron ecuaciones de regresión altamente significativas, de la producción y los contenidos de nutrientes en muestras de hojas recogidas en "mitaca".

Se dan también, los contenidos de nutrientes minerales cuyos niveles se encontraron asociados con las mayores producciones en todos los lugares del estudio y que pueden considerarse "normales" para el adecuado equilibrio nutricional del cafeto.

Con base en este equilibrio nutricional se pueden hacer los ajustes de fertilización necesarios, si oportunamente se efectúa el muestreo de hojas para su análisis químico. Este muestreo debe efectuarse en la época de "mitaca" o "travesía".

Para los ajustes en la fertilización conviene tener en cuenta que el potasio aplicado al suelo induce disminución de los niveles de calcio y de magnesio en las hojas, y que las aplica-

ciones de nitrógeno al suelo, aumentan en las hojas el nitrógeno y el manganeso pero disminuyen los valores de fósforo y de boro.

## SUMMARY

A factorial N, P, K experiment was used to measure the influence of the major elements on the mineral composition of coffee leaves and its relationship with yield. The experiment was laid out on six different locations of the Colombian Coffee zone and was also intended to select the time of leaf sampling, in order to set adequate adjustments on fertilization.

The response to fertilization, as expressed by the mineral content, was different in all the places where the study was carried out. No adequate explanation is found to explain those differences, on the basis on both physical and chemical characteristics of the soils under the study.

When applied directly to the soil, nitrogen showed to be the element most influencing on the mineral composition of the leaves. The elements most affected by nitrogen applications were nitrogen, manganese, phosphorus, and boron. These elements, in turn, were the ones more related with coffee yield.

The period between four and six months before the main harvest is the adequate time to sample the leaves, in order to set correct adjustments on fertilization.

Highly significant regression equations were established on the basis of yield versus nutrient contents of leaves, collected 4 to 6 months before the main harvest.

Mineral nutrient contents are also given, whose levels are associated with the higher yields recorded. The levels of these nutrients may be considered "normal" for an adequate nutritional equilibrium of the coffee tree.

On the basis of this nutritional equilibrium it is possible to make the necessary adjustment on fertilization, provided an opportune leaf sampling is done for chemical analysis. This sampling should be performed four to six months before the main harvest.

In order to make adjustments for fertilization it is advisable to notice that potassium, when applied directly to the soil, may diminish the contents of both calcium and magnesium in the leaves. When nitrogen is applied directly to the soil the leaf contents of nitrogen and manganese increases whereas the phosphorus and boron decreases.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ADUAYI, E. A. Soil Plant nutrient relationships in tree crops with special reference to coffee: A review. Turrialba (Costa Rica) 20(4):463-470. 1970.
- 2.- AMORIM, H. V. de et al. Estudos sobre a alimentacao mineral do cafeeiro. XVII. Efeito da adubacao NPK na composicao quimica do solo, do fruto e na qualidade da bebida (Nota preliminar). Anais de Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 22:139-152. 1965.
- 3.- ————. Estudos sobre a alimentacao mineral do cafeeiro. XXI. Efeito da adubacao, N, P, K e organica na composicao mineral do grao e na qualidade da bebida. (segunda nota). Anais da Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 24:215-228. 1967.
- 4.- ————. Estudos sobre a alimentacao mineral de cafeeiro. XXVII. Efeito da adubacao N, P e K no teor, de macro e micro nutrientes do fruto e na qualidade da bebida do café. Anais da Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 30:323-333. 1973.
- 5.- BENAC, R. Etude des besoins en éléments majeurs du café arabica en Pays Bamoun (Camerun) Paris Institut Francais du café et du cacao. Bulletin Nal. 1967. 86 p.
- 6.- CHAVERRI, G., BORNEMISZA, E. & CHAVES, F. Resultados del análisis foliar del café en Costa Rica. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industria. Información técnica N° 3. 1957. 39 p.
- 7.- CULOT, J. P. et WAMBEKC, A VAN. Contribution a l'etude des deficiences minerales du café arabica au kivu. Congo Belga, Institut National pour L'Etude Agronomique du Congo Belga. Serie Scientifique N° 73. 1958. 105 p.
- 8.- EFFECTS OF CULTURAL PRACTICES ON THE QUALITY OF KENYA COFFEE. Part. 1. Effects of napier grass mulch and nitrogen fertilizers on the quality of arabica coffee in Kenya. Kenya Coffee 41(487):361-375. 1976.
- 9.- ESPINOSA, F. M. Resultados preliminares del análisis foliar del caféto (*Coffea arabica* L.) var. Borbón (B. Rodr.) Choussy en El Salvador. El café de El Salvador Nos 348 - 349: 664 - 672. 1960.
- 10.- ————. Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en la composición foliar y producción de caféto jóvenes en un suelo latosol arcilloso-rojizo. Revista Cafetalera (Guatemala). N° 95:13-24. 1969.
- 11.- HUERTA, S. A. Composición mineral foliar, fertilización y producción del café. Cenicafé, (Colombia) 13(4):195-210. 1962.
- 12.- ————. Par de hojas representativo del estado nutricional del caféto. Cenicafé (Colombia) 14(2):111-128. 1963.

- 13.- LOUE, A. Studies on the inorganic nutrition of the coffee in The Ivory Coast. Berna, International Potash Institute. 1957. 68 p.
- 14.- MACHADO S., A. Los fertilizantes para el cafeto y el diagnóstico foliar. Boletín Informativo Cenicafé (Colombia) 7(26):123-136. 1966.
- 15.- MALAVOLTA, E. Nutricao do cafeeiro. In: Krug, C. A. et al. Cultura e adubacao do cafeeiro. Sao Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1965. pp. 159 - 206.
- 16.- MELHICH, A. Chemistry, Soil fertility and plant Nutrition. Kenya, Coffee Research Foundation. Annual Report 1965-1966. pp. 32-40.
- 17.- NEGAI, V., IGUE, E. A. & GALLO, J. R. Relacao entre os nutrientes docados nas folhas de cafeeiro, Bragantia 33:CXXXI - CXXXIV. 1974 (nota N° 25).
- 18.- PEREZ, V. et al. Nutrición del cafeto en Costa Rica. Inf. de progreso de 5 años de investigación. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín técnico N° 43. 1963 35 p.
- 19.- RAJU, L. & SUBRAMANIAN, T. R. Studies on leaf analysis in the N, P, K nutrition of arabica coffee. Turrialba (Costa Rica) 19(1): 49-56. 1969.
- 20.- RODRIGUEZ, S. J., BOSQUE, L. R., BONETA, G. E. G., MORALES, M. A. Effects of different levels of the major nutrients and lime on coffee yield in Puerto Rico. J. Agric. Univer. Puerto Rico 52(3):195-203. 1968.
- 21.- SAMUELS, G., & CAPO, B. G. Effects of levels of a fertilizer element on the uptake and concentration of that element and other elements in a plant. Agronomy Journal (EE. UU.) 44(7):352-357. 1952.
- 22.- SMITH, P. F. Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Plant Physiol. (EE. UU.) 13:81-108. 1962.
- 23.- SOUTHERN, P. J. Coffee nutrition. Part. I. The determination of nutritional status and fertilizer requeriments of arabica coffee in New Guinea. Papua and New Guinea Agricultural Journal. 18(2):62-68. 1966.
- 24.- URIBE H., A. & MESTRE M., A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción de café. Cenicafé (Colombia) 27(4):158-173. 1976.
- 25.- VALENCIA A., G., GOMEZ A., A. & BRAVO G., E. Efecto de diferentes portadores de nitrógeno en el desarrollo del cafeto y en la fertilidad de los suelos. Cenicafé (Colombia) 26(3):131-142. 1975.