

Tabla 22. Expto 1.- Influencia del momento de muestreo sobre la relación entre el rendimiento y el %N (4<sup>to</sup> par de hojas).

Mes de muestreo	Ecuación	R <sup>2</sup>
Mayo	$Y^{(1)} = -23,6 + 12,6 X^{(2)}$	58,2
Junio	$Y = -26,5 + 15,9 X$	58,1
Julio	$Y = -37,4 + 19,7 X$	89,6*
Agosto	$Y = -34,1 + 18,4 X$	90,7*
Septiembre	$Y = -37,2 + 19,6 X$	59,5
Octubre	$Y = -165,0 + 69,0 X$	84,7*
Noviembre	$Y = -117,8 + 52,2 X$	49,5
Diciembre	$Y = -33,3 + 15,6 X$	67,0*

\* Significativo al 5%

(1) Y= Rendimiento t.c. cereza/ha

(2) X= %N

aplicación de 12/85.

Si bien a partir de los resultados del análisis foliar previo a las fertilizaciones de junio y noviembre/85 no se detectaron diferencias entre los tratamientos del factor fertilización-N (Fig. 6), el muestreo en los meses de julio y agosto si logra detectar las e inclusive se obtuvieron altos coeficientes de correlación ( $R^2=90^*$ ), entre el rendimiento y el % N en estos meses en correspondencia con la respuesta del rendimiento a los niveles de fertilización (tabla 20).

Es interesante que aunque los tratamientos fertilizados en junio presentaron incrementos en el % N, el efecto movilizador de la cosecha no permitió que se alcanzaran nuevamente los tenores de 3 % N que poseían algunos tratamientos en el muestreo inicial de 5/85 y aún en los tratamientos con las mayores dosis de fertilizante-N se encontró que después de septiembre sus contenidos volvieron a disminuir. Estos tratamientos mantuvieron sus contenidos entre 2, 6-2, 8 % N, la mayor parte del período.

La propia disminución de los % N en los tratamientos con las mayores dosis estudiadas, indica que la última aplicación de N, no debe hacerse tan tardía (diciembre), para evitar la caída brusca de los tenores foliares que conlleva una aceleración de la caída de hojas, disminución del área fotosintética y de la capacidad de recuperación de la planta.

La variación de los contenidos foliares en los diferentes meses del año, denominada comúnmente variación estacional, ha sido establecido por diversos autores (Muller, 1959b, 1966; Carvajal y López, 1965).

Las disminuciones que ocurren en el período de rápida expansión de los frutos, se asocian fundamentalmente con las altas necesidades de elementos que presentan estas; lo cual origina un patrón de traslocación cuya intensidad y características dependen de la magnitud de la cosecha (Muller, 1966 y Cannell y Kimeu, 1971).

Esta variación se presenta con más intensidad en las hojas de las ramas fructíferas, no obstante existe traslocación de las hojas de ramas no fructíferas e inclusive de las hojas jóvenes en general (Cannell, 1970 Rivera y Ofelia Sam, 1983).

Esta situación explica que si bien los % N en las hojas del 4<sup>to</sup> par de ramas no fructíferas (Fig.8) fueron superiores a los de las ramas fructíferas, presentaron asimismo una disminución con el desarrollo de la cosecha.

Precisamente la existencia de la variación estacional, fundamenta fisiológicamente la importancia del momento de muestreo foliar confines de diagnóstico.

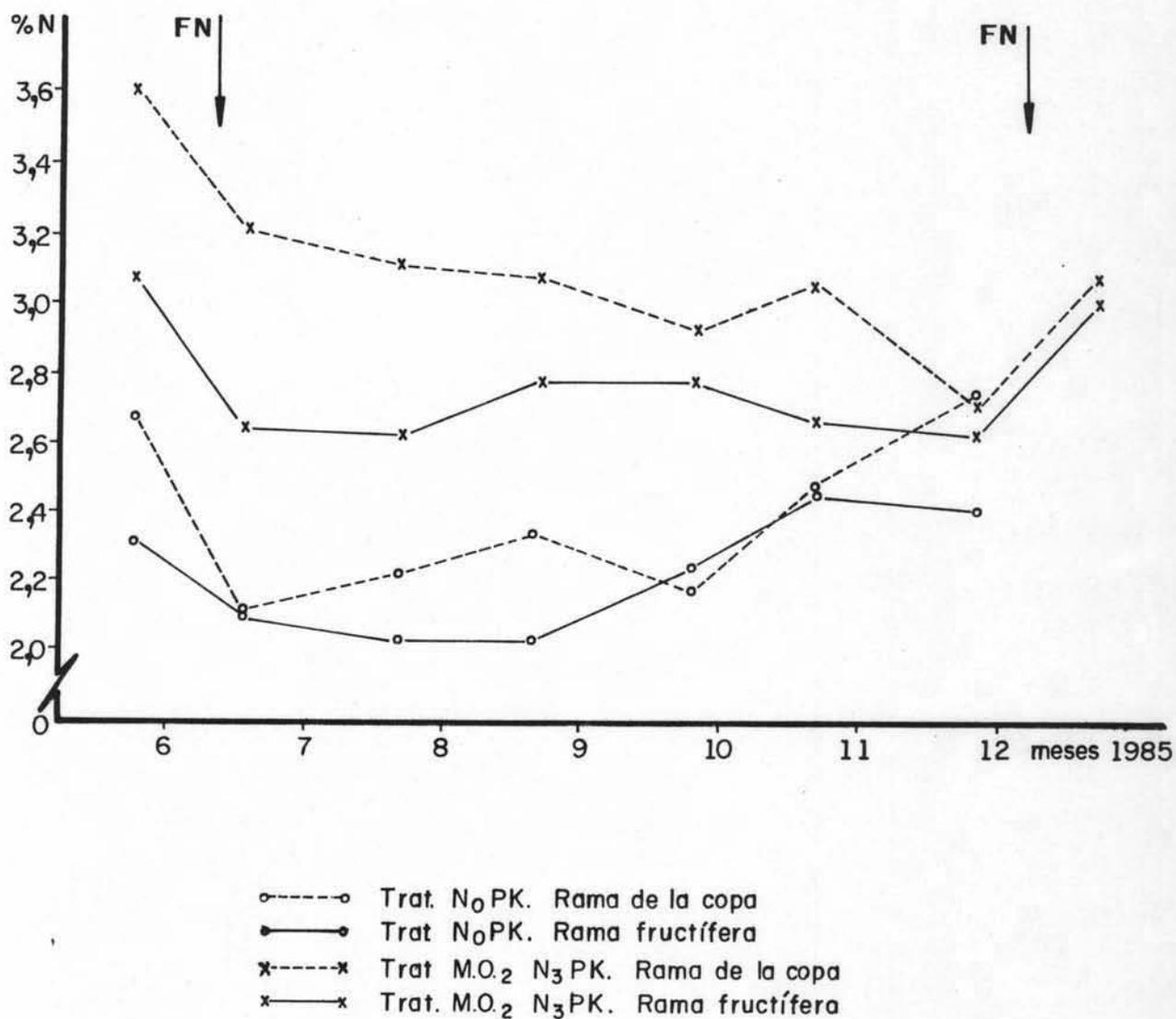


Fig. 8 :- EXPTO 1. VARIACION ESTACIONAL DEL % N, 4to PAR DE HOJAS DE RAMAS FRUCTIFERAS Y NO FRUCTIFERAS (copa) EN LOS TRATAMIENTOS M.O.<sub>2</sub>N<sub>3</sub>PK Y N<sub>0</sub>PK (año 1985)

En el café además del muestreo en la época de las floraciones principales (Muller, 1966; Carvajal, 1984; Krishnamurthy Rao y Ramaiah, 1985), diversos investigadores como Gallo y col.(1970), Valencia y Arcila (1977) y el propio Carvajal (1984) han encontrado que el período de crecimiento de los frutos es un momento adecuado para la diagnosis, ya que se acentúan las diferencias entre tratamientos.

En este caso se prefieren los meses de julio o agosto, ya que los resultados del análisis foliar se pueden utilizar en el ajuste de la fertilización del año en cuestión y evitar descompensaciones por carencia de nutrientes, lo cual no se puede hacer a partir de muestreos en octubre, tardíos para estos fines.

Por todo lo anterior se evidencia la importancia del momento de muestreo, con fines de evaluar los sistemas de fertilización-N, encontrándose en este caso que el muestreo en julio o agosto, refleja adecuadamente no sólo las diferencias en la nutrición nitrogenada, sino también en el rendimiento, que provocaron los tratamientos, ya que en dicho periodo se integran las exigencias de la cosecha en formación y el suministro de N a la planta.

## **4.2: Experimento 2 y 3. Fertilización-N y Densidad de Plantación.**

### **4.2.1: Efecto de los tratamientos sobre las variables morfológicas y producción de materia seca/órgano.**

En el experimento 2, se encontró un efecto siempre significativo de la fertilización-N sobre las variables morfológicas, y de forma esporádica de la densidad de plantación, no siendo significativo el término de interacción. (tablas 23 y 24).

El efecto de la fertilización-N se hizo evidente en la primera evaluación al año de plantado el café, agudizándose en la medida que las plantas continúan su crecimiento y comienzan a producir, todo lo cual implica mayores requerimientos de N los cuales son incapaces de ser satisfechos por el suelo.

En la medida que aumentan las exigencias de N de las plantas, los tratamientos inferiores de N, que inicialmente las satisfacían dejan de ser suficientes.

En las fig.9 y 10 se puede apreciar en el experimento 3 una significativa respuesta a la fertilización mineral-N. En la primera evaluación a los 6 meses de plantado, se encontraron valores inferiores en los tratamientos sin N, los cuales a partir de los 9 meses fueron siempre significativamente menores.

Estos resultados coincidentes con los del expto 1, comprueban la alta respuesta del

Tablas 23. Expto 2.- Dinámica de la altura (cm), para los niveles de fertilización-N y densidad de plantación.

Factor	Nivel de fertilización	Nov.1982	May.1983	Nov.1983	Mar.1984	Nov.1984
fertilización-N	N <sub>0</sub>	77,3 b	93,7 b	106,0 d	125,0 d	126,6 d
	N <sub>1</sub>	89,7 a	43,7 a	127,0 bc	139,0 c	142,0 c
	N <sub>2</sub>	86,6 a	115,4 a	134,2 b	152,7 b	164,0 b
	N <sub>3</sub>	93,9 a	115,2 a	140,2 ab	156,5 ab	167,8 ab
	N <sub>4</sub>	93,6 a	118,3 a	140,2 ab	161,3 a	178,2 a
	N <sub>5</sub>	90,8 a	119,0 a	145,6 a	162,5 a	176,8 a
	ES. <sub>b</sub>	1,68	2,26	2,66	2,7	3,0
Densidad de plantación	2x1	89,6	112,4	129,4	149,75	129,8 b
	2x0,75	88,2	113,6	133,8	148,6	157,8 a
	2x0,5	88,2	113,1	134,0	153,0	164,3 a
	ES. <sub>a</sub>	0,8	2,62	2,08	1,9	5,9

Tabla 24. Expto.2.- Dinámica del diámetro de la copa (cm), para los niveles de fertilización-N y densidad de plantación.

Factor	nivel de fertilización	Nov.1982	May.1983	Nov.1983	Mar.1984	Nov.1984
fertilización-N	N <sub>0</sub>	59,7 b*	59,9 c	45,8 d	65,8 d	44 d
	N <sub>1</sub>	83,3 a	84,2 b	67,9 c	89,5 c	79,2 c
	N <sub>2</sub>	77,9 a	83,3 b	85,3 b	109,7 b	109,8 b
	N <sub>3</sub>	80,4 a	88,5 a	92,9 b	109,5 b	111,3 b
	N <sub>4</sub>	83,4 a	91,0 a	104,0 a	119,8 a	136,1 a
	N <sub>5</sub>	84,2 a	92,2 a	102,7 a	118,3 a	130,2 a
	ES. <sub>b</sub>	1,84	2,2	2,8	3,4	4,2
Densidad de plantación	2x1	77,7	83,7	78,6 b	101,7	97,2
	2x0,75	78,0	85,0	81,8 ab	104,5	106,9
	2x0,5	77,0	80,9	89 a	104,3	107,5
	ES. <sub>a</sub>	2,74	2,6	2,5	3,4	5,2

\* Letras desiguales implican diferencias significativas al 5 %, según d'écima de Duncan.

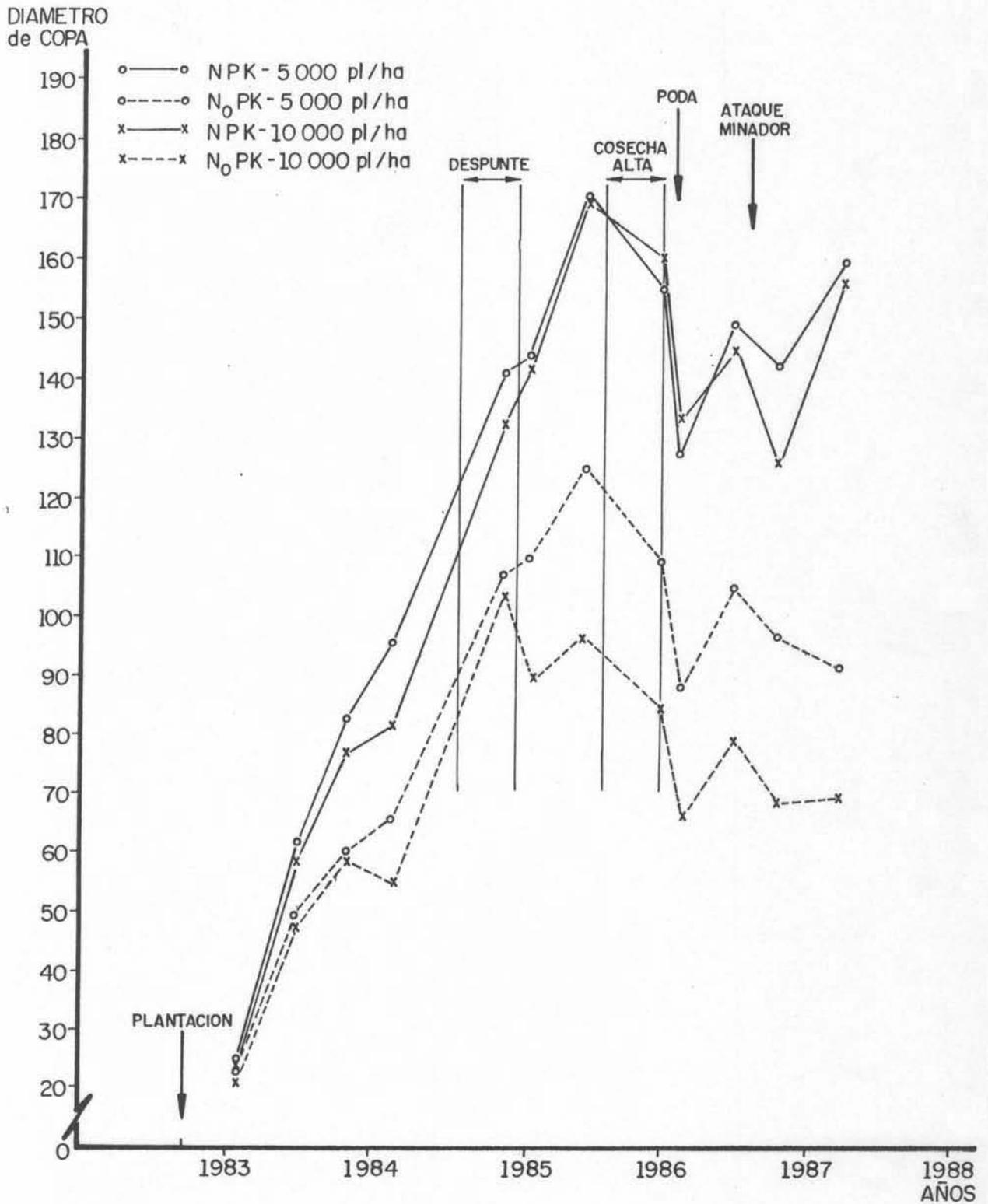


Fig. 10 : EXPTO 3. EFECTO DE LA DENSIDAD DE PLANTACION Y FERTILIZACION N SOBRE EL DIAMETRO DE LA COPA DE LAS PLANTAS

Tabla 25. Expto 3.- Efecto de la densidad de plantación sobre algunos índices del crecimiento.

	1983			1984			1986		
	5000	10000	Ic.10000/5000	5000	10000	Ic.10000/5000	5000	10000	Ic.10000/5000
Area foliar m <sup>2</sup> /pl.	3,12	1,95		7,17	4,35		4,21	2,20	
Indice Area Foliar	1,56	1,95	1,25	3,58	4,35	1,21	2,10	2,20	1,05
Sist. aéreo kg/planta	0,63	0,44		1,31	0,98		2,050	0,944	
Sist. aéreo t/ha	3,13	4,39	1,40	6,55	9,81	1,50	10,251	9,442	0,92
Sist. radical absorbente*kg/planta	0,12			0,23	0,19				
Sist. radical absorbente* t/ha	0,58			1,17	0,87	1,60	1,35	1,84	1,37
Sistema aéreo/fruto				4,17	6,05	1,45			
Sistema radical/fruto				0,75	1,15	1,53			

\* raices laterales < 1 mm.

café a la fertilización-N en las condiciones bajo estudio, que se hizo evidente entre los 6 meses y al año de plantado, dependiendo del vigor de la plantación.

Con respecto a la densidad, la conducta dependió de la variable estudiada, e inclusive en las últimas evaluaciones del nivel de fertilización.

En los tratamientos con fertilizantes no se encontraron diferencias significativas en la altura hasta la evaluación del 2/85, a partir de la cual las plantas de la mayor densidad presentaron una altura mayor.

Con respecto al diámetro de la copa (Fig.10) existió una tendencia en gran parte del período, a que las plantas de la mayor densidad presentaran los menores valores. En la medición de noviembre de 1985 se observó una disminución en el diámetro de la copa explicable en base a la influencia de la alta cosecha de 1985, que originó descompensación en ambos tratamientos, secando muchas de las ramas y que conllevó a una fuerte poda en enero de 1986.

El incremento en la densidad de plantación, origina generalmente plantas individualmente menos desarrolladas, producto fundamentalmente de la competencia que se establece por la luz, aún en presencia de cantidades suficientes de nutrientes y agua, a partir de determinado crecimiento de las mismas (Kumar, 1978).

Lo anterior no está en contradicción con que a su vez dichas plantas presentaron una mayor altura, debido al autosombreamiento y su efecto sobre el mecanismo de fotooxidación de las auxinas (Kumar, 1978).

Las plantas de la menor densidad, individualmente, presentaron una mayor producción de materia seca y área foliar, (tabla 25) aunque por supuesto la producción de materia seca/ha y el área foliar/ha (I. A. F.) fueron muy superiores en la mayor densidad, obteniéndose incrementos entre el 40-50 % y 21-25 % para ambas variables respectivamente durante los años 1983-1984.

Siendo este efecto, la base de los aumentos en rendimiento/ha que se logran al incrementar la densidad de plantación, a través de la relación directa existente entre el I.A.F. y el rendimiento (Valencia, 1973 y Kumar, 1978).

Son interesantes las diferencias en crecimiento entre ambos experimentos y el efecto de la densidad sobre este. Las plantas del experimento 2 presentaron índices de crecimiento inferiores lo que sugiere la existencia de un factor limitante y que pudiera considerarse en este caso asociado con una preparación inicial insuficiente del suelo y un establecimiento

Tabla 25. Expto 3.- Efecto de la densidad de plantación sobre algunos índices del crecimiento.

	1983			1984			1986		
	5000	10000	Ic.10000/5000	5000	10000	Ic.10000/5000	5000	10000	Ic.10000/5000
Area foliar m <sup>2</sup> /pl.	3,12	1,95		7,17	4,35		4,21	2,20	
Indice Area Foliar	1,56	1,95	1,25	3,58	4,35	1,21	2,10	2,20	1,05
Sist. aéreo kg/planta	0,63	0,44		1,31	0,98		2,050	0,944	
Sist. aéreo t/ha	3,13	4,39	1,40	6,55	9,81	1,50	10,251	9,442	0,92
Sist. radical absorbente*kg/planta	0,12			0,23	0,19				
Sist. radical absorbente* t/ha	0,58			1,17	0,87	1,60	1,35	1,84	1,37
Sistema aéreo/fruto				4,17	6,05	1,45			
Sistema radical/fruto				0,75	1,15	1,53			

\* raices laterales < 1 mm.

prematureo del césped.

En el experimento 2, inclusive se encontró que al aumentar la densidad, las plantas individualmente presentaron un mayor crecimiento, lo cual sugiere que el efecto beneficioso del incremento de la densidad de plantación sobre la temperatura, la humedad del suelo, sobre el denominado ambiente de la plantación (Fisher y Browning, 1978; Kumar, 1978; Gathara y Kiara, 1984), disminuyó la acción del factor limitante en las altas densidades.

Estos resultados no contradicen lo del experimento 3, sino que complementan la información sobre la respuesta del cafeto al aumento de la densidad de plantación, y a su vez amplía el sentido de los resultados de Browningy Fisher (1976), quienes encontraron que el cafeto respondía mejor a los incrementos en densidad de plantación, en la medida en que se cultivaba en condiciones climáticas más adversas (baja altura, clima más cálido).

#### **4.2.2: Rendimiento y coeficiente de aprovechamiento del fertilizante-N.**

En las primeras dos cosechas de los experimentos 2 y 3 (tabla 26) se puede observar una marcada respuesta tanto a la fertilización-N como a la densidad de plantación, no siendo significativo el término de interacción en el experimento 2.

La respuesta positiva a la fertilización-N es casi universal en el cafeto (Carvajal 1984), aunque dependiendo la magnitud de la dosis óptima y el momento en que aparece, del grado de desarrollo de la plantación y del suministro del suelo.

Los datos evidencian la imperiosa necesidad de aplicar N para el cultivo del cafeto en estas condiciones obteniéndose incrementos de producción entre 4-18 veces por la adición del fertilizante-N.

En el experimento 2 se obtuvieron con el sistema de fertilización N<sub>4</sub>, los mayores rendimientos para cualquiera de las densidades de plantación, recibiendo las plantas de estos tratamientos, dosis de 320 kg N/ha durante el año de mayor producción (1984).

El aumento de la densidad de plantación también originó incrementos de rendimientos importantes, obteniéndose hasta un 37 % al pasar de 5000 a 10000 plantas/ha (experimento 3) y mucho mayores 77 % para el caso del experimento 2, en el cual el factor limitante actuó más sobre las bajas densidades que sobre las altas.

Estos resultados corroboran los obtenidos por Browning y Fischer (1976), Oficina del

Tabla 25. Expto 3.- Efecto de la densidad de plantación sobre algunos índices del crecimiento.

	1983			1984			1986		
	5000	10000	Ic.10000/5000	5000	10000	Ic.10000/5000	5000	10000	Ic.10000/5000
Area foliar m <sup>2</sup> /pl.	3,12	1,95		7,17	4,35		4,21	2,20	
Indice Area Foliar	1,56	1,95	1,25	3,58	4,35	1,21	2,10	2,20	1,05
Sist. aéreo kg/planta	0,63	0,44		1,31	0,98		2,050	0,944	
Sist. aéreo t/ha	3,13	4,39	1,40	6,55	9,81	1,50	10,251	9,442	0,92
Sist. radical absorbente*kg/planta	0,12			0,23	0,19				
Sist. radical absorbente* t/ha	0,58			1,17	0,87	1,60	1,35	1,84	1,37
Sistema aéreo/fruto				4,17	6,05	1,45			
Sistema radical/fruto				0,75	1,15	1,53			

\* raices laterales < 1 mm.

Café (1976, 1977), Uribe y Mestre (1980), Bouharmont (1981) y Sara Cortés (1984) los cuales recomiendan el uso de altas densidades en el cafeto, para obtener mayores rendimientos e inclusive Kumar (1978) basado en un grupo importantes de trabajos realizadas al respecto en Kenya (Cannell 1976, Kumar y Tieszen 1976) indicó que el cafeto es un cultivo agrofisiológicamente adaptado para las altas densidades.

Es decir las plantas de las altas densidades no sólo producen más por área, sino que lo hacen en condiciones de menos stress y a que la cosecha en formación tiene relativamente un mayor sistema fotosintético y absorbente por fruto producido (tabla.25) que hace que dichas plantas, soporten mejor las altas exigencias de la cosecha e inclusive se mantenga un estado nutricional más favorable en la planta, en ausencia de factores limitantes.

Uno de los objetivos de estos experimentos era evaluar la relación existente entre la densidad de plantación y la fertilización-N. Los datos del expto2 (tabla 26) son muy sugestivos. En la medida que aumenta la densidad de plantación, aumentan los rendimientos, manteniéndose iguales los requerimientos de fertilizantes.

Como se explicó anteriormente, este experimento presentó cierta limitación, que hizo que el crecimiento y la producción fueran inferiores al resto de los experimentos, sin embargo sugiere que en esas condiciones las altas densidades aprovechan mejor los fertilizantes, al producir más con iguales requerimientos de estos.

Precisamente con el fin de evaluar la influencia de la densidad de plantación sobre la eficacia de la fertilización-N se realizaron las evaluaciones del coeficiente de aprovechamiento del fertilizante-N por el método de las diferencias en el experimento3 (Fig. 11).

En la primera evaluación (14meses) se observó, un ligero incremento de la eficiencia de la fertilización-N por el aumento de la densidad de plantación, siendo en ambos casos bajos los aprovechamientos "aparentes" debido fundamentalmente a que la dosis inicial (80kg N/ha) fue alta para los bajos requerimientos mostrados inicialmente por del cultivo. En la segunda evaluación realizada a los 25 meses, coincidente con la primera cosecha, se encontró un marcado incremento de eficiencia por el aumento de la densidad, 86,7 % . vs. 49 %.

En la última evaluación de fecha marzo 1986, si bien ambas densidades presentaron un buen aprovechamiento de 67 % este valor debió ser fuertemente influido por la

Tabla 26. Exptos 2 y 3.- Efectos de la fertilización-N y la densidad de plantación sobre los rendimientos acumulados (t. c. cereza /ha).

Expto 2: 1983-1984

	5000 plantas/ha	6666 plantas/ha	10000 plantas/ha	Factor Fertilización-N
N <sub>0</sub>	0,469	1,447	0,242	0,72 d
N <sub>1</sub>	3,685	4,018	7,804	5,17 c
N <sub>2</sub>	5,487	5,596	13,400	8,16 bc
N <sub>3</sub>	5,000	7,615	15,205	9,27 b
N <sub>4</sub>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8,556</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">14,065</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">18,439</span>	13,70 a
N <sub>5</sub>	10,112	14,271	19,620	14,67 a
Factor densidad	5,551b	7,835b	12,45 a	ES. $\alpha$ 0,80**

ES.  $\alpha$  0,66\*\*

Expto 3: 1984-1985

N <sub>0</sub>	7,140c	4,84d
N	25,603b	35,190a

ES.  $\alpha \times \beta$  0,73\*\*\*

Dosis óptima en cada densidad en base al análisis estadístico y la dócima de Duncan.

descompensación existente (Fig. 10).

La descompensación no solo se evidenció a través de la disminución del diámetro de la copa (Fig.10), sino también del decremento del área foliar de octubre de 1984 a marzo de 1986 (tabla.25), así como de la brusca disminución en el contenido de N (kg/ha) que presentaron las plantas de los tratamientos fertilizados en dicho período (Fig.11).

Esta situación, en unión de los resultados del experimento 1, en el cual se encontró un incremento lineal de la producción hasta dosis de 280kg N/ha, permite suponer que la dosis de N empleada (200kg/ha), fue insuficiente para garantizar un crecimiento y estado nutricional adecuado y sobre todo en ese año de alta producción.

La descompensación se presentó con mayor fuerza en el tratamiento N-10000 plantas/ha, el cual presentó comparativamente una mayor disminución en el contenido de N (kg/ha), en el área foliar y otros índices de crecimiento en el período octubre 1984 marzo 1986, que los correspondientes al tratamiento con la densidad inferior.(Fig. 10 y 11 , tabla.25).

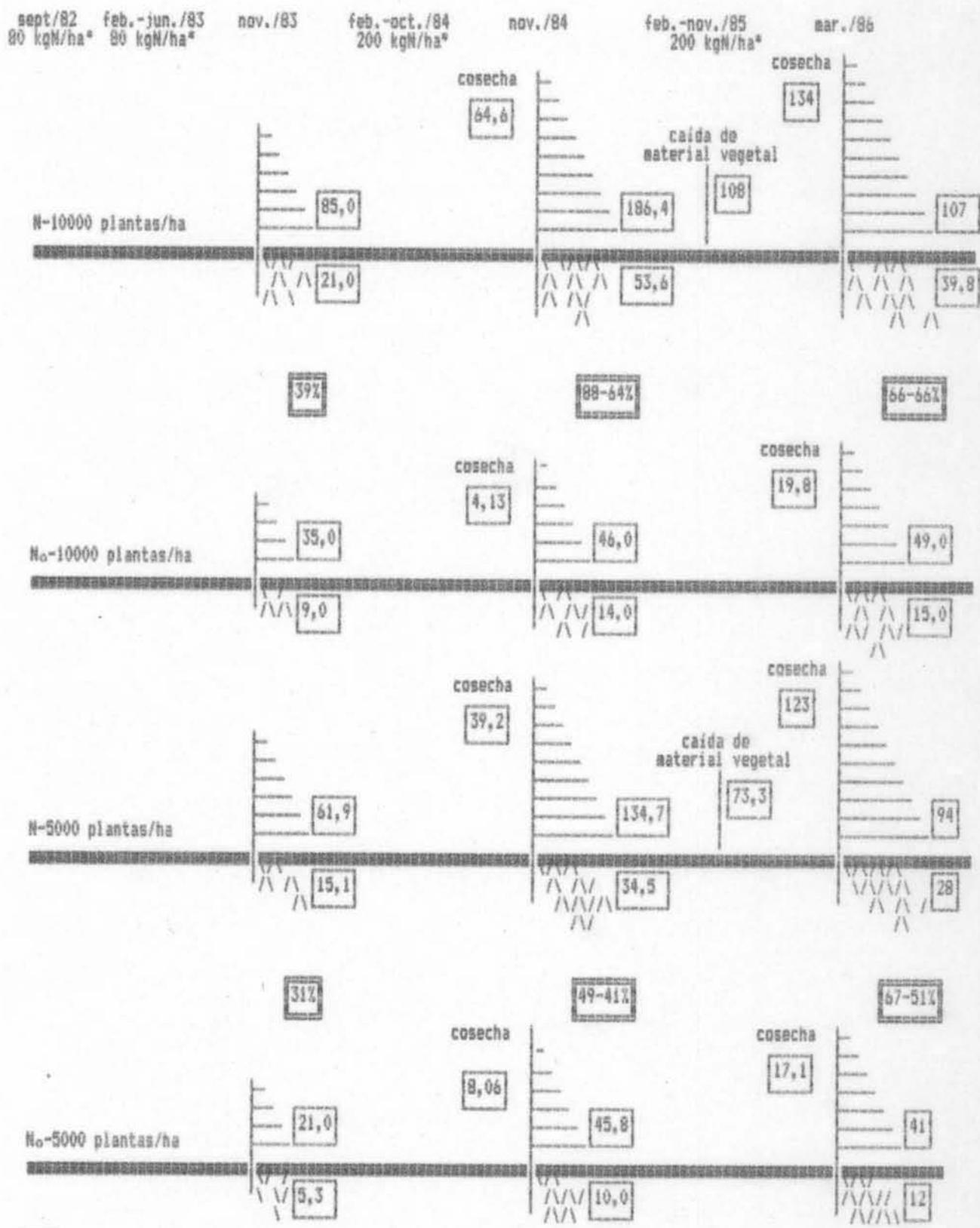
Lo anterior debe explicar la desaparición del efecto positivo de la densidad sobre la eficiencia de la fertilización en este último periodo, producto de que la descompensación según Cannell (1976) y Kumar (1978) actúa primariamente sobre el sistema radical, limitando la absorción de nutrientes.

Esta situación no contradice los criterios de Kumar (1978) de que las altas densidades tienden a sufrir menos la descompensación, sino que comprueba de que hay que garantizar el suministro adecuado de nutrientes, so pena de descompensar las plantas (Muller, 1966; Clowes, 1973).

No obstante el coeficiente de aprovechamiento acumulado fue favorable a las altas densidades 65 % vs. 51 Y., siendo una de las posibles causas de esta mayor eficiencia, la mayor densidad radical que se obtuvo, al incrementar el número de plantas/ha (tabla. 25).

Otra de las posibles causas puede estar dada, a través del efecto beneficioso de las altas densidades sobre la temperatura de las plantas, del suelo, sobre el ambiente de la plantación (Kumar, 1978), que permite que se realicen en condiciones más favorables diferentes procesos, como la fotosíntesis (Kumar y Tieszen, 1976), que en definitiva favorecen la eficiencia de la plantación.

En estos experimentos las plantas de la densidad superior produjeron más que las correspondientes a 5000) plantas/ha, con similares requerimientos de fertilizantes, pero esto no debe ser una conducta general, sino una consecuencia de las características



□ N(kg/ha) en diferentes partes de la planta en cada muestreo.

▨ a-b Coeficiente de aprovechamiento "aparente" anual<sup>(a)</sup> y acumulativo<sup>(b)</sup>.

\* Dosis de fertilizante-N aplicado en la fecha o periodo en cuestión.

Fig.11 Expto 3-. Extracción de N (kg/ha) y coeficiente de aprovechamiento "aparente" del fertilizante-N en dos densidades de plantación. Sep./82-Mar./86.

experimentales ya explicadas.

Las altas densidades (10000 plantas/ha) producen más (tabla.26), extrayendo más nutrientes (Fig. 11), pero al hacerlo con más eficiencia, los requerimientos adicionales de fertilizantes no serán proporcionales a los incrementos en rendimiento ni en número de plantas obtenidos al aumentar la densidad de plantación,

Similares resultados obtuvieron Uribe y Salazar (1981) y Matiello y col., (1984), quienes encontraron una mayor eficiencia de la fertilización-N, al aumentar la densidad de plantación, recomendando ligeros incrementos de fertilizantes al incrementar la misma, pero nunca proporcionales a los incrementos en rendimiento obtenidos.

#### **4.2.3.1: Análisis foliar.**

Experimento2. Los factores bajo estudio sólo ejercieron efectos significativos sobre el % N. Los % P y % K presentaron en las diferentes fechas de muestreo, contenidos adecuados de acuerdo con los criterios de Chaverri y col (1957), Muller (1966) y Martin (1983 b, c).

Las dosis creciente de N ejercieron efectos significativos sobre el % de N. presentándose en algunas ocasiones efectos significativos del factor densidad de plantación; no resultando significativos los términos de interacción. En la Fig.12 se pueden observar algunos aspectos interesantes como:

Una concentración siempre inferior del tratamiento  $N_0$ , disminuyendo linealmente en la medida que el cafeto crece, obteniéndose a partir de los 20 meses de plantado, valores por debajo de 2,5 % N y que llegan a descender hasta 2,0 %

La diferenciación de los tratamientos en función del tiempo y por ende del crecimiento y las exigencias de N de las plantas, lo que hace que si bien en el primer muestreo, cualesquiera de los tratamientos ( $N_1$ - $N_5$ ) fueron suficientes para garantizar un adecuado estado nutricional ( $>3,0$  % N), a partir de ese momento el tratamiento  $N_1$ , comenzó a presentar un comportamiento inferior y ya en el último muestreo estos se agruparon en función de los contenidos que originaron en:  $N_4$ - $N_5 > N_3$ - $N_1 > N_0$

La variación estacional existente asociada con las aplicaciones de fertilizante-N (incrementos) y con el desarrollo de la cosecha (decrementos).

El análisis foliar en el cafeto es una herramienta útil para el nutricionista (Robinson 1961b, Muller 1966, Carvajal 1984) obteniéndose en este experimento una alta identidad

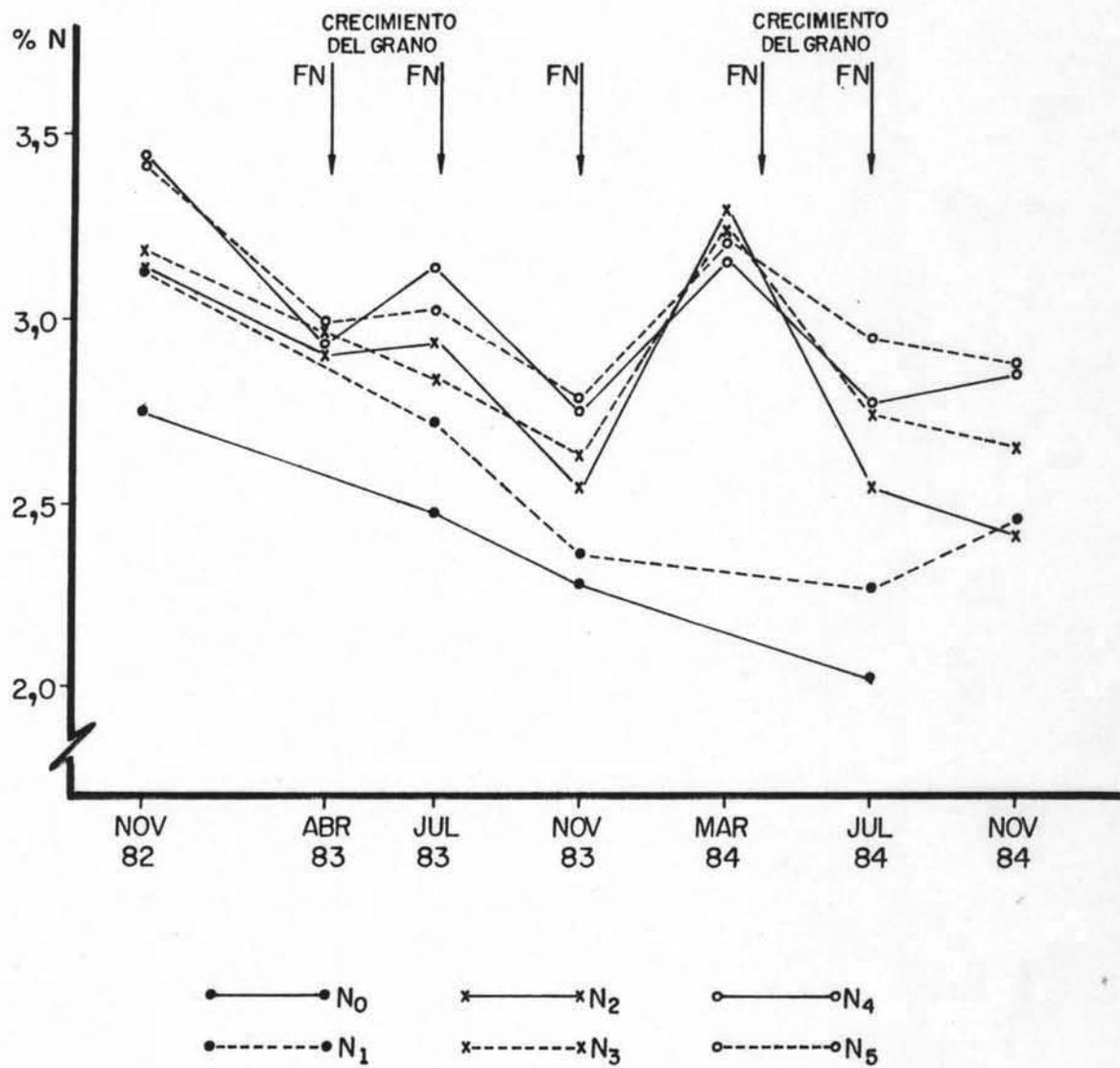


Fig.12.- EXPTO 2. DINAMICA DEL % N PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACION N

entre los efectos de la fertilización-N sobre el crecimiento del cafeto y los contenidos foliares (% N), reflejando adecuadamente estos últimos la nutrición nitrogenada de la planta (tabla.27).

De forma general los resultados obtenidos, corroboran con bastante exactitud los criterios de interpretación expuestos en las páginas 11 y 12, estando asociados los contenidos de 3 % de N o cercanos al mismo en floración o inicio de la fructificación con los tratamientos que originaron las mayores producciones, y por debajo de 2,5 % de N con los tratamientos  $N_0$  y  $N_1$  que presentaron un crecimiento y desarrollo claramente deficientes. Se denota asimismo con fuerza la traslocación del nitrógeno fundamentalmente por la acción de la cosecha en formación (Muller 1959b,1966; Carvajal y López 1965, Rivera y Ofelia Sam 1983), reflejando el muestreo foliar de julio dichas necesidades y completando la información acerca de las posibilidades de un tratamiento de satisfacerlas necesidades de la planta.

Un ejemplo de lo anterior es el tratamiento-N y durante el año 1984,el cual inicialmente en marzo presentó un alto contenido en % N y sin embargo el muestreo de julio en la etapa de máximo crecimiento del fruto, sugiere que el tratamiento no fue suficiente y de hecho los datos de rendimiento lo corroboraron.

Este enfoque de utilización del análisis foliar fue planteado por Carvajal (1972), y tiene además el objetivo de poder actuar sobre el sistema de fertilización empleado siempre que se disponga de la información a tiempo.

Si bien la densidad de plantación, no siempre presentó efectos significativos sobre los tenores foliares (% N), existió la tendencia a encontrarse los mayores valores en los tratamientos de las mayores densidades (Fig. 13) lo cual es un reflejo de la mayor eficiencia de la fertilización-N que se obtuvo con las mismas.

#### **4.2.3.2: Experimento 3.**

Los resultados del. % N (Fig. 14) se dividieron perfectamente en dos grupos, con y sin fertilización-N, de forma similar a como se comportaron las variables morfológicas (Fig.9 y 10) y la extracción (Fig. 11).

Un grupo la mayoría del tiempo por debajo de 2,2 % N correspondiente a los tratamientos sin N y otro por encima de este nivel coincidente con los tratamientos donde se aplico N. Si bien los tratamientos fertilizados mantuvieron siempre contenidos de N superiores,

Tabla 27. Expto 2.- Relaciones entre crecimiento, rendimiento y %N (4<sup>to</sup> par de hojas). Ecuaciones de regresión y coeficiente de correlación.

Y	X	%N- junio 1983	%N- julio 1984	%N- noviembre 1984	Diámetro copa mar. 1984
Diámetro copa may./1983		$Y = 8,6X - 1,4X^2 - 12$ $R^2 = 92,3^*$			
Diámetro copa mar./1984			$Y = 4,5X - 0,8X^2 - 5,1$ $R^2 = 98,7^*$		
Diámetro copa nov./1984				$Y = 11,3X - 1,9X^2 - 15,2$ $R^2 = 87,2^*$	
Rendimiento 1984			$Y = 11,63X - 23,15$ $R^2 = 96,8$		$Y = 0,18X - 12,5$ $R^2 = 96,8$

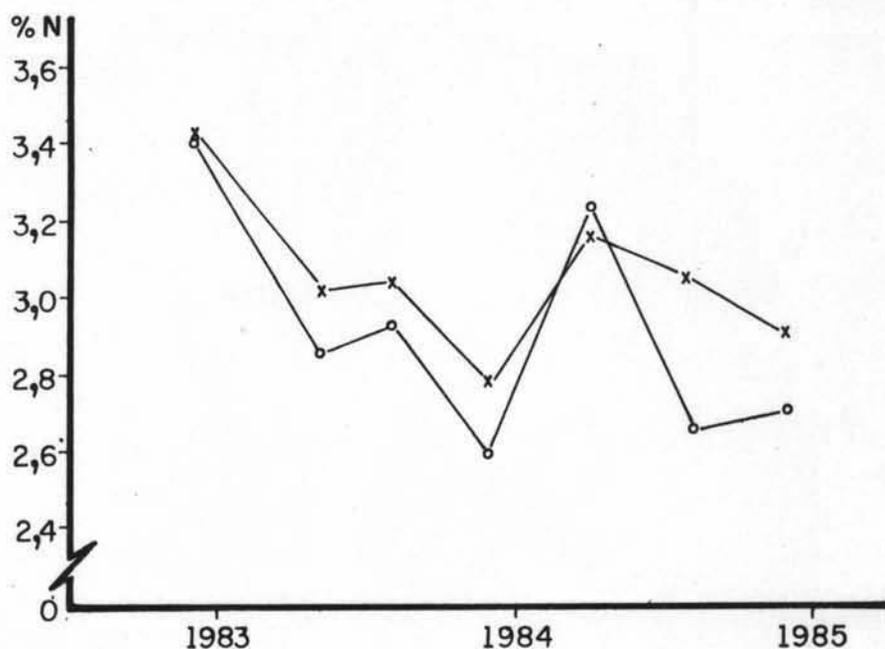


Fig. 13 - EXPTO 2. DINAMICA DEL % N PARA LA MEDIA DE LOS TRATAMIENTOS  $N_3$ ,  $N_4$  Y  $N_5$  EN DOS DENSIDADES DE PLANTACION ( $x \rightarrow x$  10000 pl/ha,  $o \rightarrow o$  5 000 pl/ha )

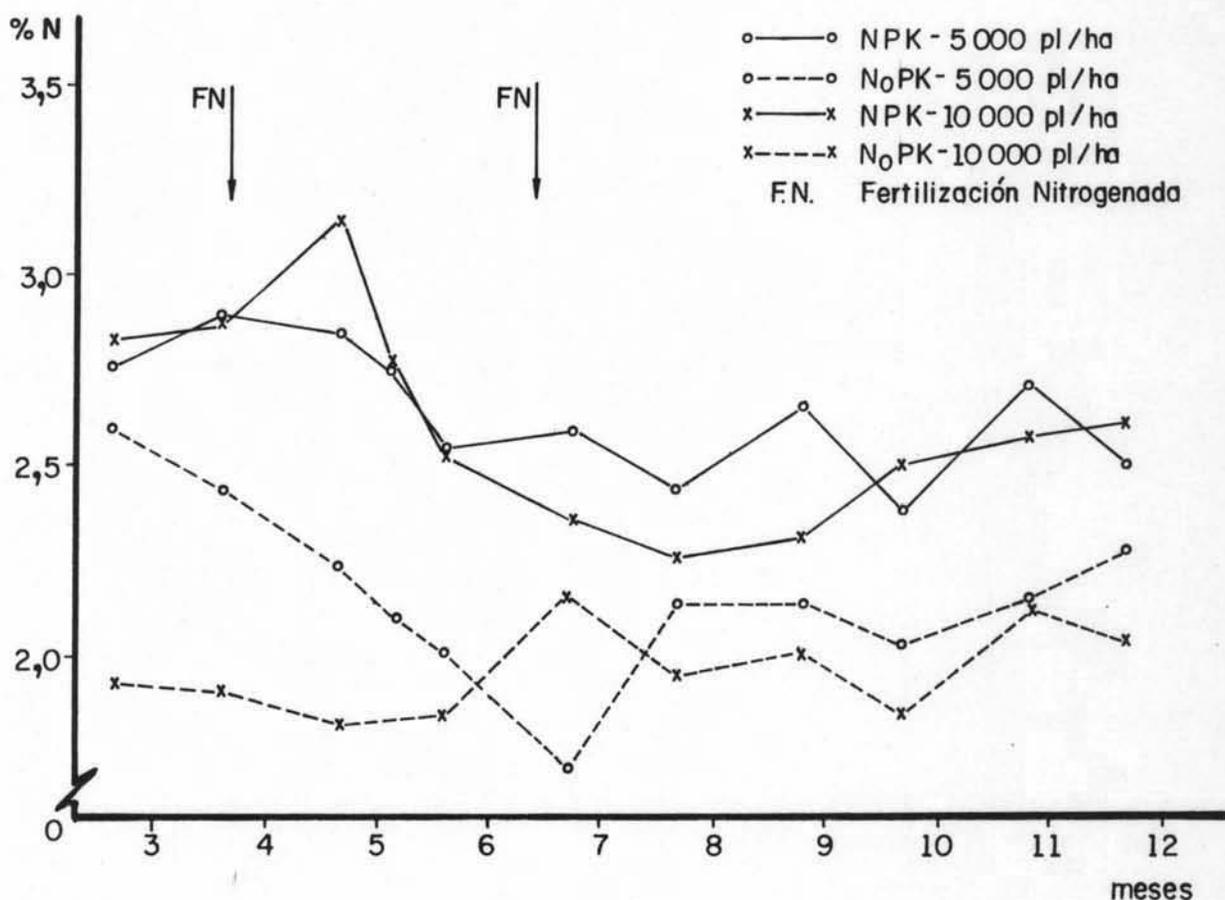


Fig. 14 - EXPTO 3. VARIACION ESTACIONAL DEL % N , 4to PAR DE HOJAS DE RAMAS FRUCTIFERAS, DURANTE EL AÑO 1985

presentaron una brusca y temprana caída del % N, y desde mayo 1985 se obtuvieron valores muy cercanos a 2,5 % N, propios de un suministro insuficiente de N en base a los resultados del análisis foliar en los experimentos.1 y 2.

Esta situación fue mucho más intensa en el tratamiento de alta densidad, el cual poseía una mayor cosecha en formación y mayores requerimientos y donde los contenidos de N, disminuyeron mucho más que en el tratamiento de 5000 plantas/ha, presentando valores de 2,25-2,30 % en los meses de julio y agosto.

Lo anterior corrobora los planteamientos hechos acerca de la insuficiencia de esta dosis (200 kg de N/ha) para garantizar el N necesario, considerándose en base a todos los resultados obtenidos que haya sido la principal causa de la descompensación ocurrida en ese año.

Con respecto al % de P y K(Fig.15) si bien presentaron variación estacional, no existieron diferencias significativas entre tratamientos, estando asociados los menores valores con las mayores producciones, aunque aún en estos casos, los contenidos fueron suficientes de acuerdo con Muller (1966).

#### **4.2.4: Concentración de Nitrógeno (%) en diferentes órganos del cafeto. Efecto de la densidad de plantación.**

La concentración de N (%) en los diferentes órganos (tabla.28) presentó las siguientes características:

En las raíces laterales < 1 mm. se presentaron mayores contenidos que en las axiales y principal, posiblemente asociado con los procesos de absorción obteniéndose valores similares entre la raíz principal y el tallo.

Los contenidos (% N) aumentaron en el sistema aéreo, en la sucesión tallos-ramas-hojas, presentando siempre los tejidos en crecimiento, altas concentraciones de N en comparación con los tejidos lignificados.

Si bien datos de este tipo no abundan en este cultivo, distribución del contenido de N en los diferentes órganos fue similar a la obtenida por Cannell y Kimeu (1971), aunque dichos autores encontraron valores absolutos, ligeramente inferiores.

En la tabla 28 se presenta el contenido medio N de las hojas en la fecha de muestreo en cuestión. La concentración de N en las hojas no sólo presentó variación estacional (Fig. 14) sino que de acuerdo con la edad de la misma, e inclusive si pertenecen o no a ramas

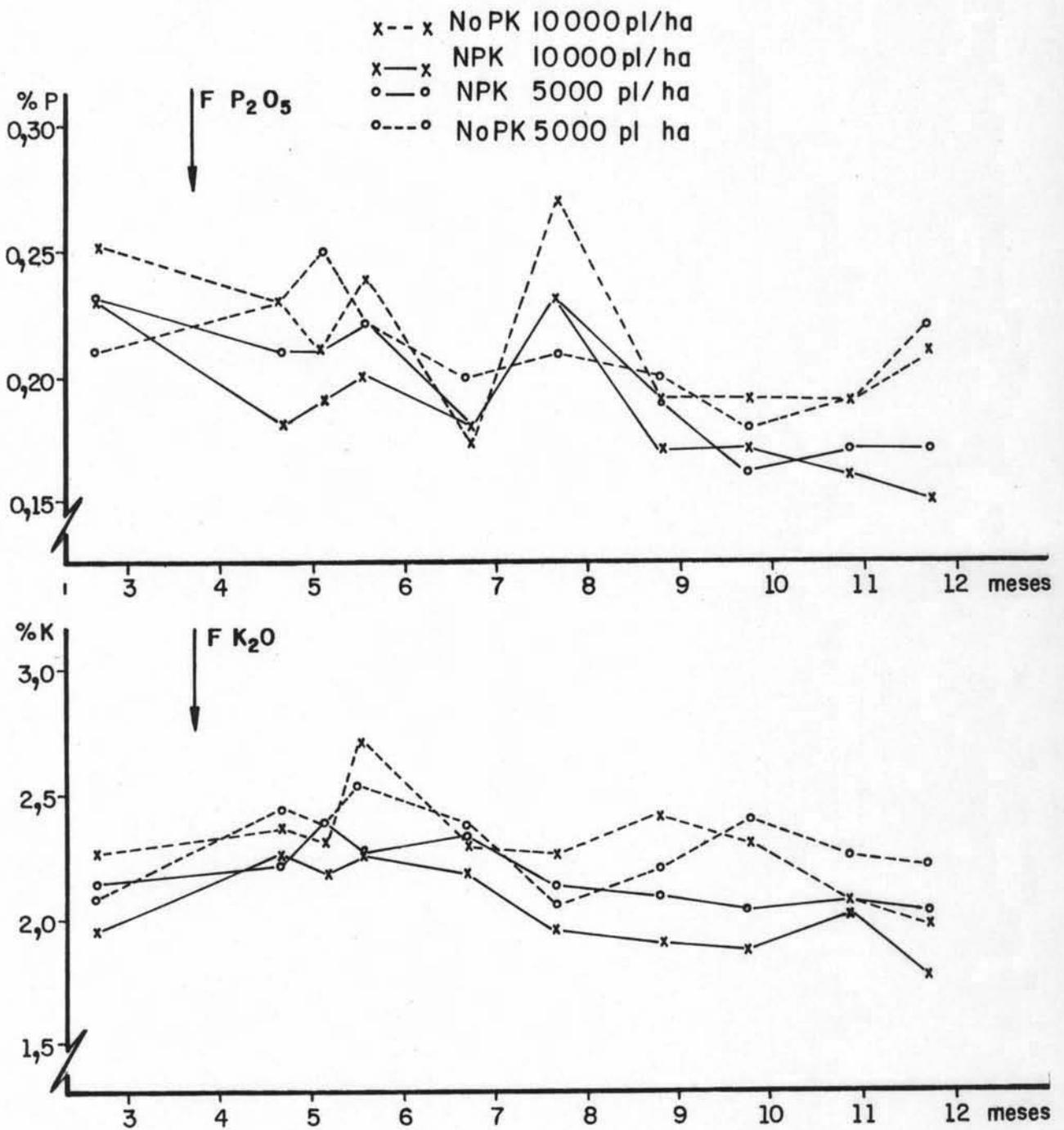


Fig. 15.- EXPTO 3. VARIACION ESTACIONAL DEL %P Y %K, 4to. PAR DE HOJAS DE RAMAS FRUCTIFERAS DURANTE EL AÑO 1985.

Tabla 28. Expto 3.- Concentraciones de N(%) y rangos para dos densidades de plantación en diferentes partes de la planta y fechas de extracción (meses de plantada).

	nov. 1983 (4 meses)				nov. 1984 (26 meses)				marzo 1986 (42 meses)			
	NPK-5000 %N	p1/ha rango	NPK-1000 %N	p1/ha rango	NPK-5000 %N	p1/ha rango	NPK-10000 %N	p1/ha rango	NPK-5000 %N	p1/ha rango	NPK-10000 %N	p1/ha rango
Hojas*	2,76	2,60-3,05	3,10	2,55-3,80	3,04	2,60-3,60	3,04	2,30-3,60	3,15	2,87-3,15	2,67	2,32-3,28
Frutos**					2,44	1,55-3,25	2,20	1,55-2,80	1,86	1,75-2,31	1,72	1,57-1,84
Ramas verdes	1,70	1,35-1,90	1,93	1,80-2,20	1,64	0,95-2,10	1,83	1,75-2,00	2,30	2,11-2,60	2,20	2,16-2,40
Ramas lignif. <sup>1</sup>	1,19	0,85-1,35	1,23	1,20-1,30	1,42	0,95-1,90	1,12	0,95-1,30	1,41	1,35-1,44	1,55	1,20-1,89
Tallo verde	1,43	1,20-1,95	1,82	1,70-1,95	1,94	1,65-2,35	1,63	1,30-2,00	1,84	1,70-1,94	1,73	1,52-2,13
Tallo lignif. <sup>1</sup>	0,88	0,65-1,20	1,13	0,85-1,45	1,08	0,95-1,45	0,98	0,65-1,45	1,12	1,10-1,18	0,81	0,65-0,99
Raíz principal	1,14	0,86-1,25			0,84	0,70-0,88	0,89	0,80-0,95	0,59	0,38-0,74	0,47	0,38-0,54
Raíces axial.**1	1,12	0,90-1,25			1,31	1,15-1,50	1,30	1,24-1,33				
Raíces lat.***1	1,70	1,50-1,95			1,79	1,30-2,15	1,66	1,33-2,20	1,18	0,85-1,70	1,56	0,83-2,06

\* Medias de 2 veces el número de plantas extraídas.

\*\* Medias de 9 veces el número de plantas extraídas.

El resto de los órganos, medias del número de plantas extraídas.

\*\*\* Media ponderada de los países en la cosecha del año en cuestión.

<sup>1</sup> Lignif.=lignificado; axial.=axiales; lat.=laterales < 1 mm.

fructíferas, variaran sus contenidos (Muller, 1966). En este caso el % N varió de 1,8-2,2 % N para las hojas viejas hasta 3,6-4,0% N para las hojas jóvenes.

Los frutos presentaron contenidos menores que las hojas, encontrándose mayores contenidos de N en la primera cosecha que en la segunda, posiblemente asociado con la alta magnitud de esta última. Los valores encontrados coinciden con los obtenidos por Carvajal (1959), Geuss (1967), Snoeck (1980), Bornesmiza, (1982), y sirven de base para calcular la exportación de N por cosecha.

Con respecto a la influencia de la densidad de plantación se observó lo siguiente (tabla. 28): En las primeras evaluaciones en fechas similares las plantas de las dos densidades presentaron similares contenidos (% N) en los diferentes órganos.

En la tercera evaluación realizada, después de una alta cosecha se encontró una tendencia a presentarse valores menores en la mayor densidad, posiblemente relacionados con la mayor insuficiencia de N que presentó este tratamiento y que fue explicado anteriormente.

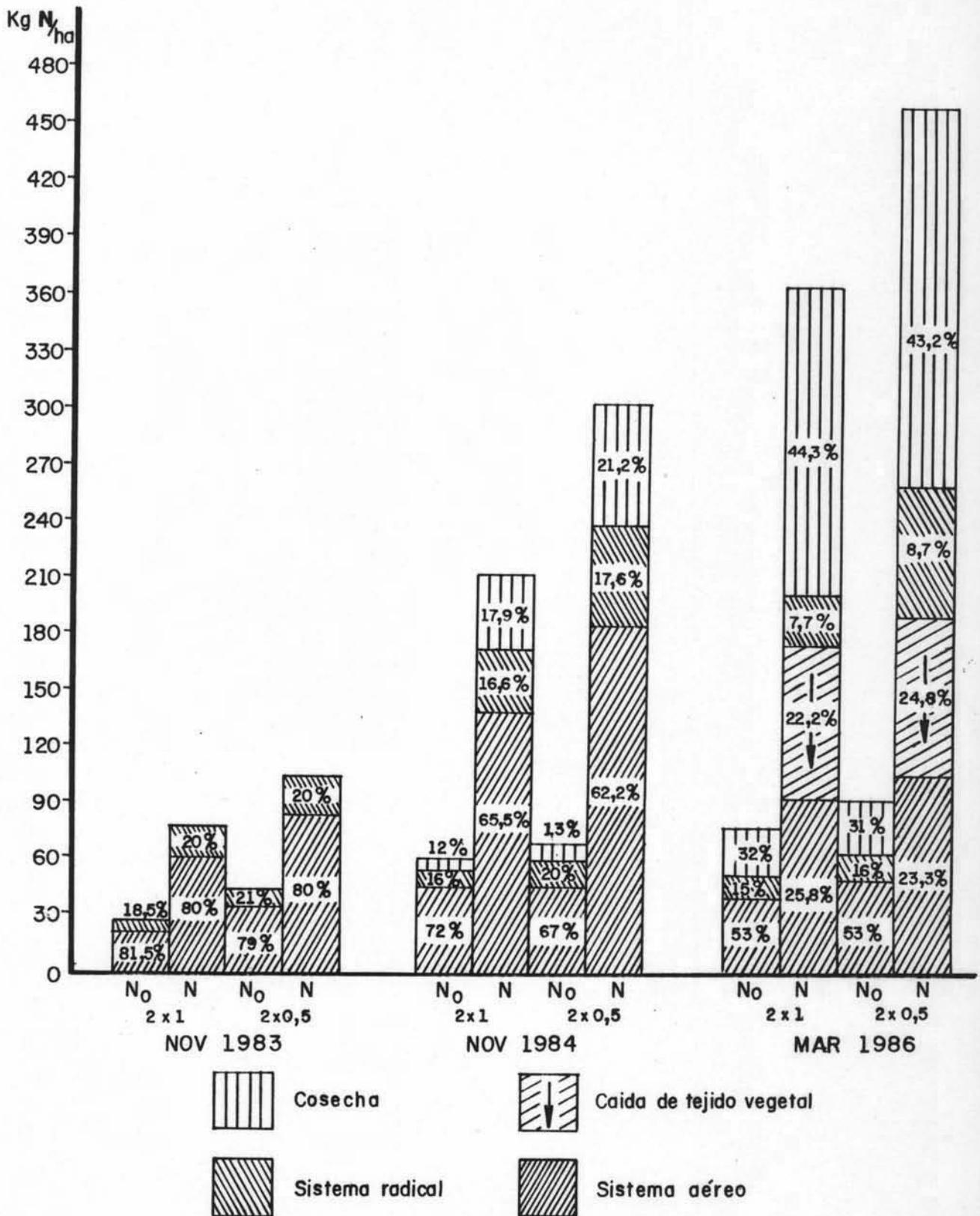
Los resultados sugieren que de forma general en condiciones de un suministro adecuado de nitrógeno, la densidad de por Si no ejerce influencias negativas sobre los contenidos de este elemento en las diferentes partes de la planta.

#### **4.2.5: Influencia de la fertilización-N**

La Influencia de la fertilización-N y la densidad de plantación sobre la extracción del Nitrógeno.- En la Fig.16 se presentan las extracciones acumulativas de N en función de la fertilización-N para cada densidad de plantación y donde se puede observar la gran influencia de la fertilización-N sobre la extracción de N, efecto que se incrementa en la medida que aumentan las exigencias de las plantas.

Este efecto en lo fundamental, está relacionado con que el suministro de N por el suelo, es insuficiente para garantizar el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas. En los tratamientos fertilizados, se encontró que la participación acumulativa del N-suelo en la nutrición de las plantas, (tabla.29) disminuye en la medida que las exigencias se incrementan, de 35,5-41,5 % a los 24 meses cae a 20-21% a los 31 años de plantada.

Asimismo los datos de extracción (Fig.16), indicaron la cantidad apreciable de N que fue extraído por el cafeto. El aumento de la densidad de plantación de 5000 a 10000 plantas/ha incrementó la extracción de N, encontrándose en las primeras dos evaluaciones



**Fig. 16.- EXPTO 3. EXTRACCIÓN (kg/ha) Y DISTRIBUCIÓN DEL N (%) EN DIFERENTES PARTES DEL CAFETO, EN FUNCION DE LA FERTILIZACIÓN -N Y LA DENSIDAD DE PLANTACION**

Tablas 29. Expto 3.- Coeficiente de aprovechamiento "aparente" acumulado del fertilizante-N y participación del N-suelo (%), en el N-extraído por el cafeto.

	sep./82-nov./83	nov./83-nov./84	nov./84-nov./86
Coeficiente de 10,000pl/ha	39	65	65,5
Aprovechamiento 5000pl/ha	32	41,5	51,2
Participación 10000pl/ha	42,4	22,6	21,2
de N-suelo 5000pl/ha	36,3	29,8	21,5

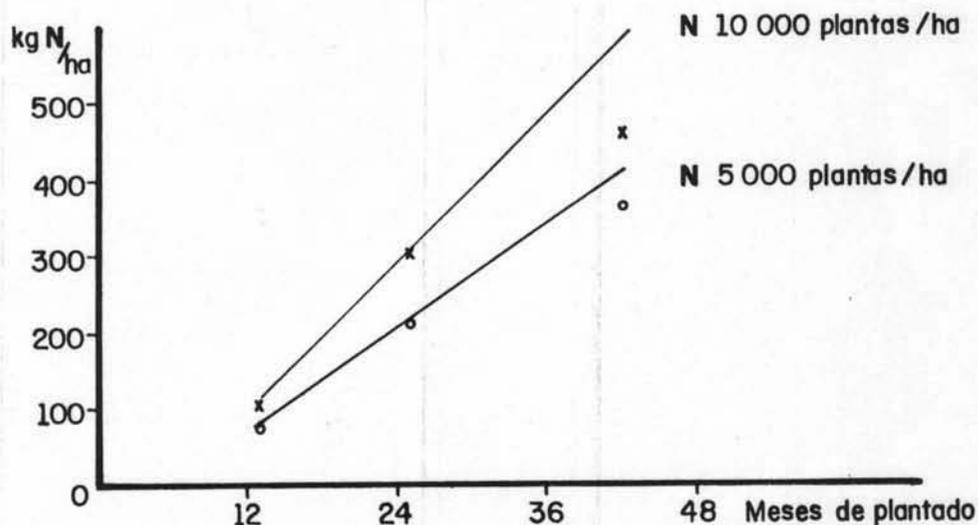


Fig. 17.- EXPTO 3. EXTRACCION ACUMULADA (kg N/ha) EN FUNCION DEL TIEMPO, PARA LOS TRATAMIENTOS FERTILIZADOS

un factor de incremento de 1,4.

En la evaluación de marzo de 1986, si bien ambos tratamientos fertilizados disminuyeron su ritmo de absorción (Fig.17), el factor obtenido de 1,26 fue bajo e indicativo de que la descompensación ocurrió con mayor fuerza en el tratamiento de alta densidad.

A partir de los datos anteriores (Fig.16) y suponiendo que se mantuviera el mismo ritmo de extracción durante el último período (nov.1984-mar.1986) (Fig.17), se encontró que las plantas de café extrajeron 77kg N/ha a los 14 meses, 213kg a los 26 meses, y un estimado de 400kg a los 42 meses para densidades de 5000 plantas/ha.

Para la densidad de 10000 plantas/ha y teniendo en cuenta las mismas consideraciones, se encontró que extrajeron 106kg N/ha a los 14 meses, 306kg a los 26 meses, y un estimado de 580kg a los 42 meses.

La distribución porcentual del N extraído en los diferentes órganos (Fig.16), si bien fue influida por el nivel de fertilización-N no lo fue por la densidad de plantación, con independencia de las cantidades mayores de N que extrajeran las plantas de la mayor densidad.

La variación que existió en la distribución porcentual del N extraído en los diferentes años, debió ser una consecuencia de las etapas del cultivo. En la medida que el café comienza a producirse encontró una alta cantidad del N extraído en la cosecha, que llegó a ser del orden del 44 % a los 3 años de plantado, lo cual confirma los planteamientos de Geuss (1967) y Gannell y Kimeu (1971), sobre las altas cantidades de N que la planta destina a la formación de los frutos.

Los resultados anteriormente señalados complementan la información sobre la alta respuesta a la fertilización-N en estos suelos, basado en los altos requerimientos de N del cultivo y la insuficiencia del suelo para satisfacerlos.

El cultivo intensivo del café produciendo plantas vigorosas y altos rendimientos, necesita de cantidades importantes de N y al menos en estos suelos tienen que ser suplidos fundamentalmente por los fertilizantes minerales u orgánicos.

#### **4.3 Utilización del análisis foliar (% N) como estimador del estado nutricional.**

La utilización del análisis foliar como estimador del estado nutricional se basa en dos aspectos:

a) que refleje los cambios en la nutrición de las plantas.

b) que se establezcan relaciones entre los contenidos de los elementos y el crecimiento y producción del cafeto.

El primero de estos aspectos se ha demostrado a lo largo de este trabajo (Fig.12 y 14), obteniéndose que el % N en estos experimentos, de respuesta a la fertilización nitrogenada, ha reflejado los cambios en los niveles de fertilización, estableciéndose un gradiente de % N en función de las dosis de fertilizantes nitrogenados.

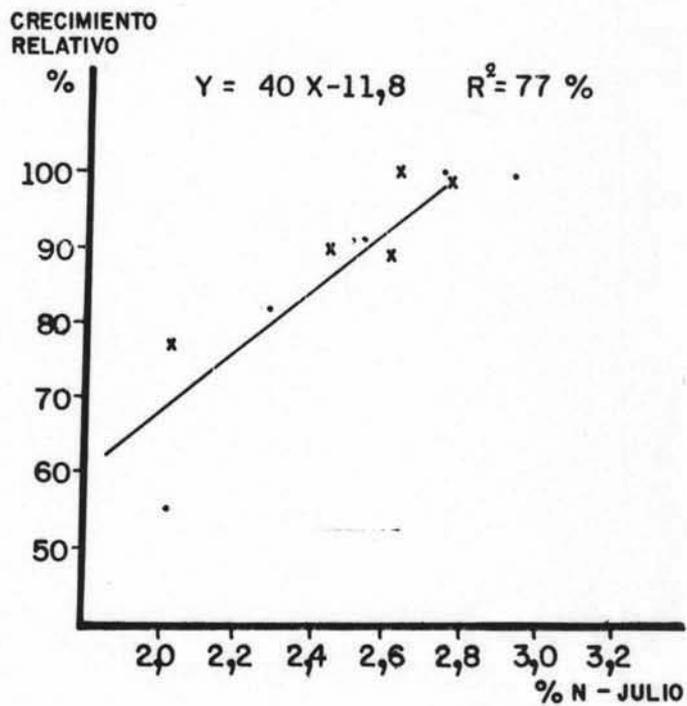
En las Fig.18 y 19 se puede observar como se cumple el segundo aspecto, al obtenerse relaciones significativas entre el crecimiento y producción del cafeto y el % N en diferentes momentos de muestreo: marzo (floración e inicio de fructificación) y julio (etapa de alta demanda del fruto), logrando asociarse rangos de contenidos de % N con diferentes estados nutricionales, a partir de las ecuaciones obtenidas.

Un aspecto importante fue la necesidad de trabajar con índices relativos de crecimiento y producción, basado no solo en que se utilizaron datos de diferentes experimentos con diferentes grados de desarrollo, sino también en los planteamientos de Forestier (1967) de que "la relación entre los contenidos de un elemento y el rendimiento no tiene por que ser una relación sencilla ya que la producción es la integración de diferentes factores de los cuales uno de ellos es la nutrición".

En el caso del cafeto esta relación se vuelve más complicada por ser un cultivo indeterminado, en el cual el rendimiento esta predeterminado por el crecimiento vegetativo del año anterior, ocurriendo con facilidad que dos tratamientos garanticen contenidos similares en las hojas y sin embargo se obtengan diferentes rendimientos, por tener distintas cantidades de "madera nueva" en el momento de la floración.

De tina u otra forma la producción de madera nueva y el estado nutricional de la planta, están relacionados con el rendimiento pero no siempre la primera es una consecuencia de la segunda, estando influida por las condiciones climáticas, manejo y estado de la plantación, densidad (Fig.20) e inclusive sobre producción, haciendo que un mismo contenido pueda estar asociado con diferentes producciones.

A partir de los resultados mostrados se puede concluir que el análisis foliar puede utilizarse como estimador del estado nutricional del cultivo, proponiéndose los siguientes criterios de interpretación (tabla.30) para un sistema de fertilización-N, fraccionado entres momentos (marzo, junio, septiembre-octubre) en presencia de cantidades suficientes del resto de los elementos.



**Fig.18. EXPTO 2. CRECIMIENTO RELATIVO (%) Y % N-JULIO. ECUACION DE REGRESION Y COEFICIENTE DE CORRELACION (X datos expto 1 ; •-datos expto 2**

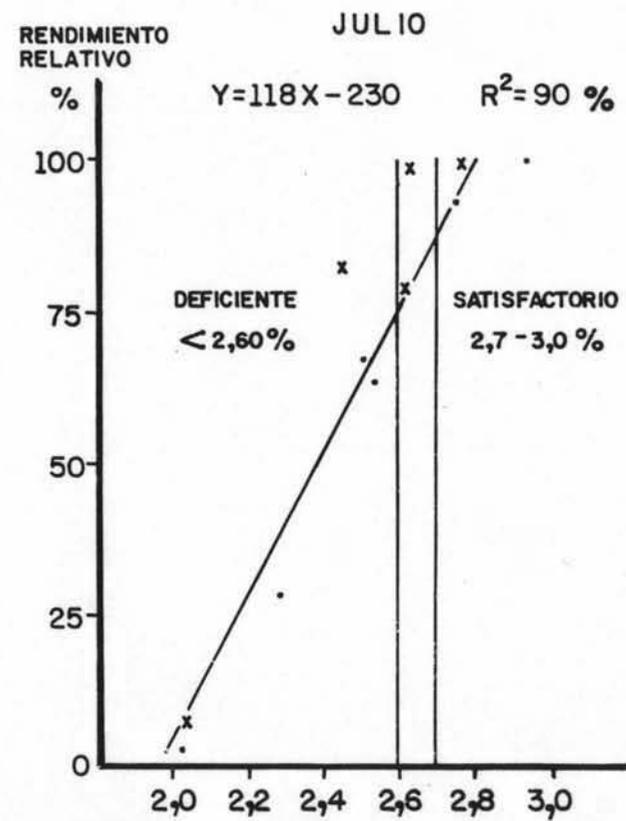
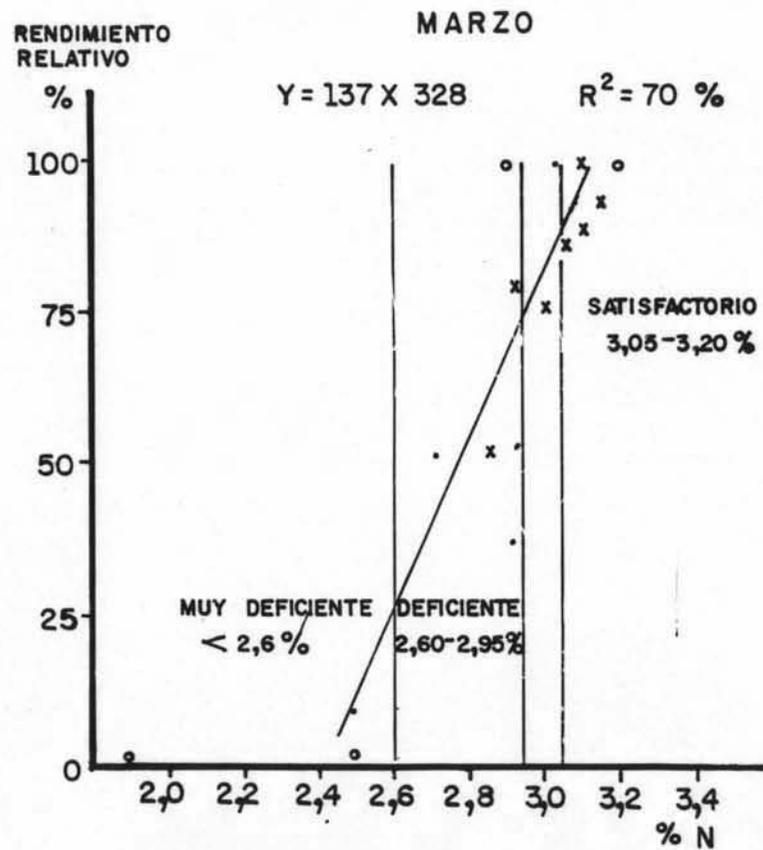


Fig 19::EXPTO 1, 2 y 3. RELACIONES ENTRE RENDIMIENTOS RELATIVOS (%) Y % N, EN DOS MOMENTOS DE MUESTREO. ESTADO NUTRICIONAL ASOCIADO ( x-datos expto.1; ·-datos expto. 2 y o-datos expto. 3)

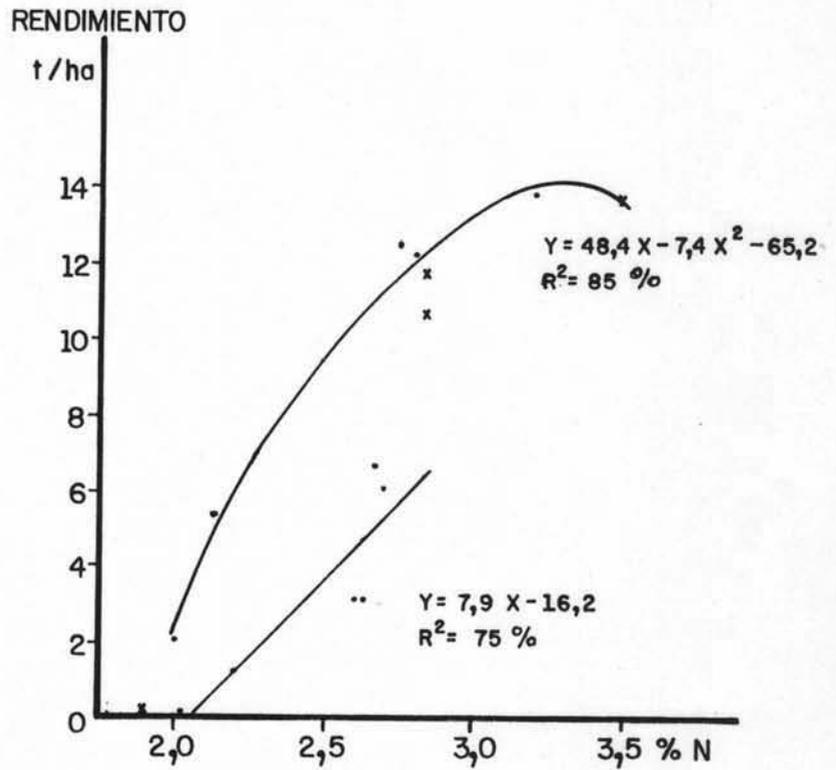


Fig. 20 -EXPTO 2. RELACIONES RENDIMIENTO (1984) Y % N (7/1984) PARA 5 000 Y 10 000 PLANTAS/ha

Tabla 30.- Interpretación de los contenidos foliares %N (4<sup>to</sup> por hojas, ramas fructíferas) en cafetos cultivados a plena exposición solar.

CONTENIDOS %N	EPOCA DE MUESTREO	ESTADO NUTRICIONAL-N	RECOMENDACION
3,05-3,4*	Floración e inicio de la fructificación. (marzo-mayo)	Optimo	Mantener el sistema de fertilización empleado.
2,6-3,0	Floración e inicio de la fructificación.	Deficiente	Aumentar la dosis de fertilizantes.
<2,6	Floración e inicio de la fructificación.	Muy deficiente	Aumentar la dosis de fertilizante.
2,70-3,0*	Formación de la cosecha (julio-agosto)	Adecuado	Mantener el sistema de fertilización empleado.
<2,60	Formación de la cosecha.	Deficiente	Aumentar la dosis de fertilizantes. Necesidad de adicionar de forma rápida N (vía foliar) complementando la aplicación vía suelo.

\* Estos contenidos garantizaron una producción acumulada de 26-30 t.c.cereza/ha en dos cosechas y un crecimiento adecuado.

Por todos los planteamientos anteriores, estos criterios de interpretación no cuantifican el fertilizante a aplicar, esto dependerá fundamentalmente del nivel de rendimiento y la dinámica del elemento en el suelo.

Las posibilidades de análisis foliar estarán relacionadas con evaluar si el sistema de fertilización usado satisface o no las necesidades de las plantas, permitiendo ajustar el mismo a través del diagnóstico en base a las concentraciones de los elementos (Krishnamurthy Rao y Ramaiah, 1985 ) y de las relaciones entre los mismos (Muller, 1966; Malavolta, 1971; Sumner, 1979), pero el potencial productivo de hecho estará predeterminado por el manejo de la plantación y las características ecológicas del área en cuestión.

#### **4.4 Experimento 4. Estudios con $^{15}\text{N}$ .**

##### **4.4.1 Transformaciones del N-fertilizante en el suelo.**

###### **4.4.1.1 Dinámica de las formas $\text{NH}_4^+$ -N y $\text{NO}_3^-$ -N en diferentes profundidades.**

En la Fig.21 se puede observar que:

- Aún cuando se fertilizó con  $(\text{NH}_4^+)_2\text{SO}_4$  y  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  sólo se encontraron altas  $[\text{NH}_4^+\text{-N}]$ , en los primeros 18 días posteriores a la aplicación-N de 3/85, en la profundidad de 0-30cm. del suelo; no observándose incrementos apreciables en la  $[\text{NH}_4^+\text{-N}]$  por debajo de los 30cm, cuando se utilizó el  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Los incrementos detectados en la  $[\text{NH}_4^+\text{-N}]$ , en la profundidad de 60-90cm cuando se utilizó la urea, fueron ligeramente superiores a los producidos por el  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- Se encontraron significativos incrementos en la  $[\text{NO}_3^-\text{-N}]$  seguida a la fertilización-N, observándose un movimiento importante de estos por debajo de los 30cm. de profundidad del suelo, que originaran  $[\text{NO}_3^-\text{-N}]$  relativamente importantes entre los 30-60cm. de profundidad. En la máxima profundidad estudiada, se detectaron incrementos en la  $[\text{NO}_3^-\text{-N}]$  relacionados con las aplicaciones de Marzo y Noviembre/1985, aunque los contenidos de  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  siempre fueron menores que en las profundidades anteriores.
- Las altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  que siguieron a la fertilización-N, no se mantuvieron estables, disminuyendo rápidamente sobre todo en la aplicación de Junio/1985, en la cual al mes de la aplicación la  $[\text{NO}_3^-\text{-N}]$  fue similar a la encontrada en el momento de la aplicación.

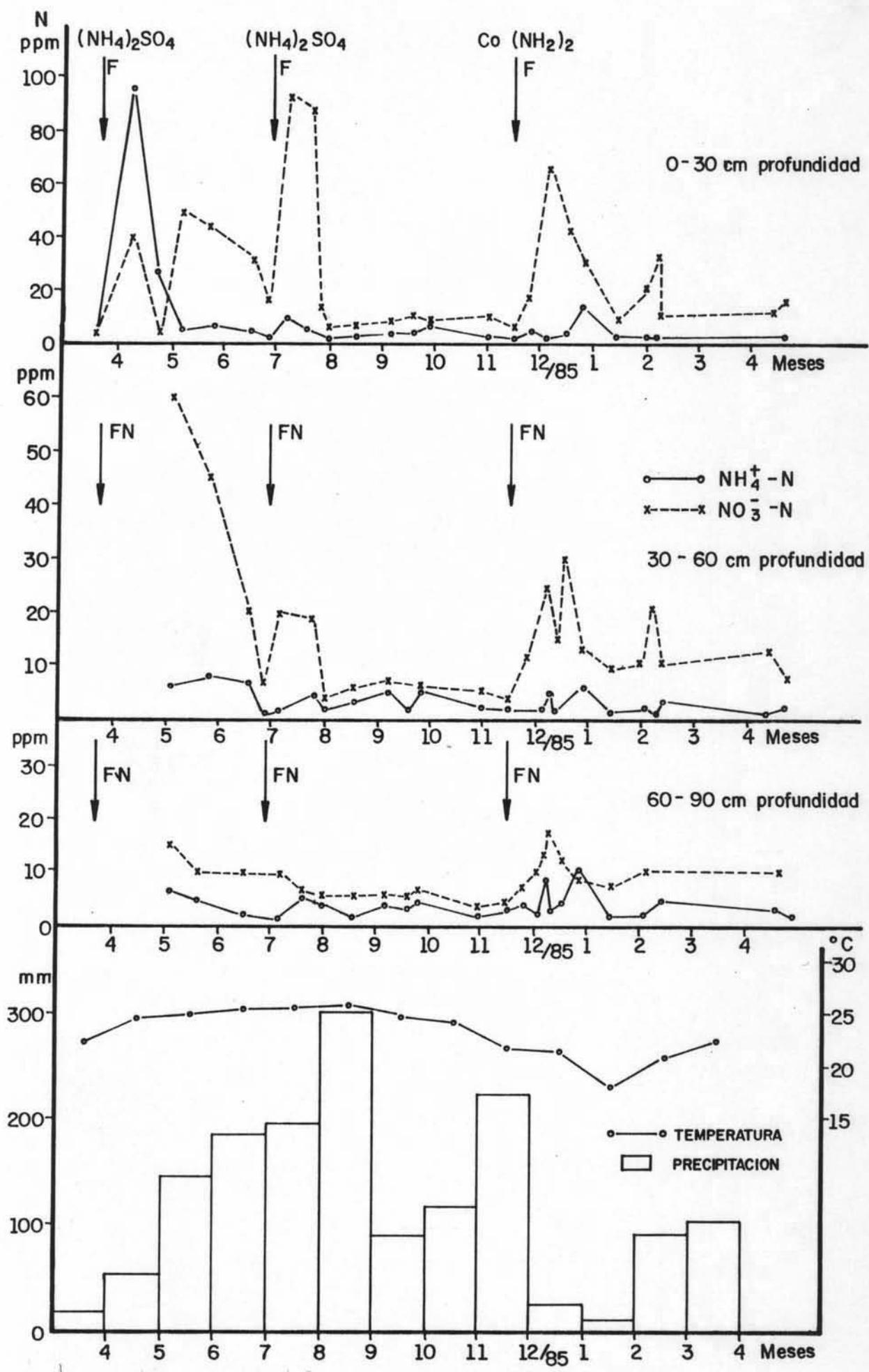


Fig. 21.- EXPTO 4. DINAMICA DE LAS FORMAS MINERALES-N EN LA ZONA DE FERTILIZACION (20-30 cm) EN DIFERENTES PROFUNDIDADES; PRECIPITACION Y TEMPERATURA PROMEDIO DEL AREA EXPERIMENTAL

Un aspecto importante a conocer en el sistema suelo-planta-fertilizante, lo es precisamente la velocidad de nitrificación del fertilizante- $\text{NH}_4$ , producto de las diferentes conductas de ambas formas minerales del N y las menores pérdidas que sufre la forma  $\text{NH}_4\text{-N}$  en el sistema. En este caso los datos indican una apreciable velocidad de nitrificación, cuya magnitud estuvo en dependencia de la época de aplicación del fertilizante

Cuando se fertilizó en el mes de Junio con  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , prácticamente todo el fertilizante- $\text{NH}_4^+$ , se había transformado en  $\text{NO}_3\text{-N}$  cuando se realizó la primera evaluación a la semana de la aplicación; sin embargo en la aplicación de Marzo si bien se encontraron cantidades apreciables de  $\text{NO}_3\text{-N}$  en la primera evaluación, a los 18 días de la aplicación, los contenidos de  $\text{NH}_4\text{-N}$  fueron aproximadamente el doble que los de  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

La causa de esta diferencia debe estar muy relacionada con las condiciones de humedad y temperatura del suelo imperantes en ambos momentos de aplicación. Es sabido (Sabey y col. 1956; Stanford y Epstein, 1974; Myers, 1975 y Cameron y Kowalenko, 1976) que la velocidad de nitrificación aumenta con el incremento en humedad y temperatura del suelo, hasta tensiones entre 0,1 y 0,5 bar y temperaturas de 35 °C.

El régimen de precipitación en los dos momentos de aplicación fue completamente diferente, caracterizándose los meses de Marzo y Abril por condiciones de poca precipitación, que condicionaron posiblemente una menor humedad en el suelo que en Junio y Julio.

Las temperaturas se manifestaron en el mismo sentido, no obstante las diferencias fueron mucho menos marcadas (Fig. 21) y de acuerdo con los resultados de Sabey y col. (1956), Cassman y Munns (1980), la variación de temperatura observada en el area experimental debió tener menos influencia sobre la velocidad de nitrificación, que la variación en la humedad del suelo.

Un estimado de la velocidad de nitrificación, en junio, teniendo en cuenta la localización del fertilizante fue de 150-200mg./Kg. suelo en 7 días, que es comparable con las velocidades encontradas en condiciones de laboratorio por Rice y Smith (1983), Gilmour (1984) y mayores que los obtenidos por Sabey y col.(1956) y Fundora y Torres (1987) lo cual indica una alta actividad nitrificadora de este suelo, en condiciones de campo.

En el caso de la aplicación de  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  a en Noviembre, hay que tener en cuenta dos procesos, primero la hidrólisis de la urea, producto de la actividad de la ureasa (Chin y

Kroontje, 1963; Reynolds y col.1985) y después la nitrificación del  $\text{NH}_4\text{-N}$  formado.

El hecho de que las  $[\text{NO}_3\text{-N}]$ , fueron siempre muy superiores a las de  $[\text{NH}_4\text{-N}]$ , en los primeros días posteriores a la aplicación, permite plantear que la velocidad de nitrificación fue alta, es decir el  $\text{NH}_4\text{-N}$  formado por la hidrólisis fue rápidamente nitrificado o inmovilizado y no se llegó a acumular.

Se debe tener en cuenta que en las primeras dos semanas después de la aplicación se presentan altas precipitaciones, similares a las de Junio, que posibilitaron condiciones propicias para la actividad de los microorganismos.

Otro aspecto interesante que se deriva de la fig. 21, es la diferenciación de las formas en cuanto a su movimiento en el perfil. Los resultados indican un movimiento muy limitado de  $\text{NH}_4\text{-N}$  y en mucha mayor extensión de los  $\text{NO}_3\text{-N}$ , aún cuando no se obtienen altas concentraciones en la mayor profundidad. Con respecto a la urea, se puede considerar en base a los incrementos en  $\text{NH}_4\text{-N}$  obtenidos en la profundidad, un movimiento superior al de la forma  $\text{NH}_4\text{-N}$ .

Estos resultados desde el punto de vista del movimiento relativo de las formas minerales y la urea, coinciden con los de Bartholomew (1971), Badzhov e Ikonomova (1971), Fenn y Miyamoto (1981) y Rivera y Eolia Treto (1984).

En relación con las pérdidas por lavado de N, las relativamente bajas concentraciones de las formas minerales en la profundidad, en unión del profundo sistema radical del cafeto en estas condiciones (Rivera y col., 1985) permiten suponer que no fueron de un orden muy importante, sobre todo en condiciones de absorción adecuada.

Las pérdidas por lavado fueron probablemente mayores en Noviembre y Marzo, asociadas en ambos casos con menores ritmos de absorción, en el primer caso por la descompensación existente post-cosecha en este tratamiento (experimento 3) y en el segundo, posiblemente influido por un período de perturbación de las plantas, luego de la introducción de las microparcels en el suelo.

En nuestras condiciones no existen estudios concluyentes al respecto, y los pocos existentes evidencian un lavado no muy importante del N, <10% del fertilizante-N (Cordero, 1974; Dinchev y col., 1974; López,1984; Rivera y Eolia Treto,1984).

La fertilización-N no sólo conllevó aumentos en la concentración de las formas minerales en la zona de fertilización (20-30 cm. de distancia a la planta) sino que también se encontraron incrementos, aunque de menor magnitud en una zona de muestreo entre 65-

75 cm. de distancia a la planta y a las diferentes profundidades (Fig. 22).

Estos incrementos indican un movimiento lateral del fertilizante y hacen que un estudio cuantitativo del  $^{15}\text{N}$  en el suelo, implique un muestreo detallado en al menos, la mitad de la microparcela.

#### **4.4.1.2.-N-fertilizante (% Nddf) en las formas minerales del N.**

Los datos de % Nddf en las formas minerales para cada aplicación (Fig. 23) coinciden en lo fundamental con lo expuesto con relación a la fig.21:

-Se observó un movimiento muy limitado de la forma  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  proveniente del fertilizante y mucho más importante de los  $\text{NO}_3^-\text{N}$ , encontrándose los mayores % Nddf en la profundidad con la aplicación de Marzo de 1985. En todas las aplicaciones se obtuvieron % Nddf superiores a 60% en la máxima profundidad estudiada.

- Los % Nddf en las formas  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  y  $\text{NO}_3^-\text{N}$  en las diferentes evaluaciones, confirman los planteamientos sobre la velocidad de nitrificación en las condiciones experimentales, al encontrarse siempre en los muestreos correspondientes a las primeras evaluaciones de cada aplicación, % Nddf muy superiores en el  $\text{NO}_3^-\text{N}$  que en el  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , reflejándose una mayor velocidad de nitrificación en Junio, que en Marzo.

No solo la velocidad de nitrificación fue inferior en la aplicación de marzo, sino que el N-fertilizante permaneció comparativamente mayor tiempo en formas minerales en dicho periodo, que en junio-julio (Fig.23) sugiriendo un menor ritmo de absorción en dicho periodo.

La dinámica del % Nddf. en las diferentes profundidades correspondientes a cada una de las aplicaciones, evidencia el movimiento del N-fertilizante en forma de  $\text{NO}_3^-\text{N}$  así como el de la urea, al encontrarse % Nddf. en la forma  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  por debajo de los 30 cm., muy superiores a los detectados cuando se fertilizó con  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Además los datos sugieren que si bien la hidrólisis de la urea ocurrió en una alta extensión (80-90%) en las primeras 2-3 semanas, el proceso se completó a los 30 días.

Es importante destacar que al no evaluar la  $[\text{NO}_2^-\text{N}]$  en el suelo, no se puede descartar la posibilidad de un efecto inhibitorio sobre el paso  $\text{NO}_2^-\text{--NO}_3^-$  (Passioura y Wetselaar, (1972) que enmascara la estimación de la velocidad de hidrólisis, la cual procede aparentemente más lenta que de acuerdo con lo planteado por Groes (1971) y Reynolds y col.(1985).

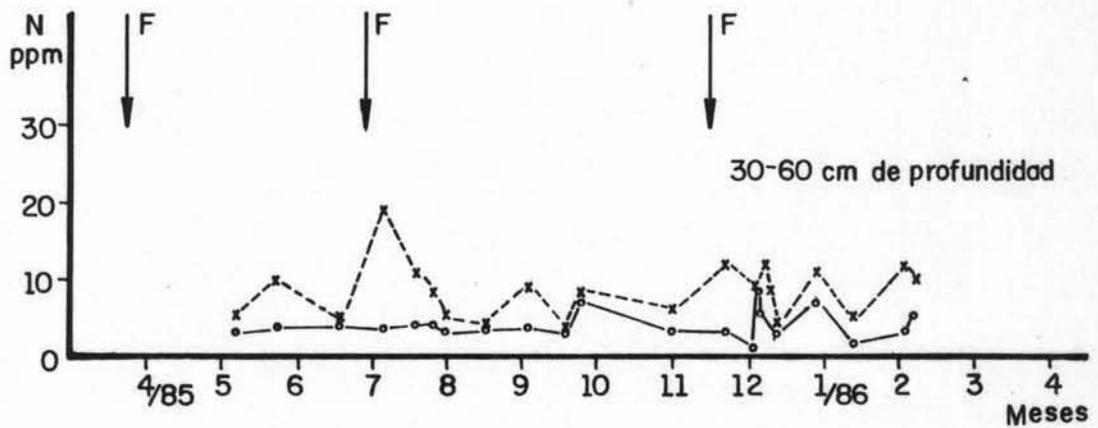
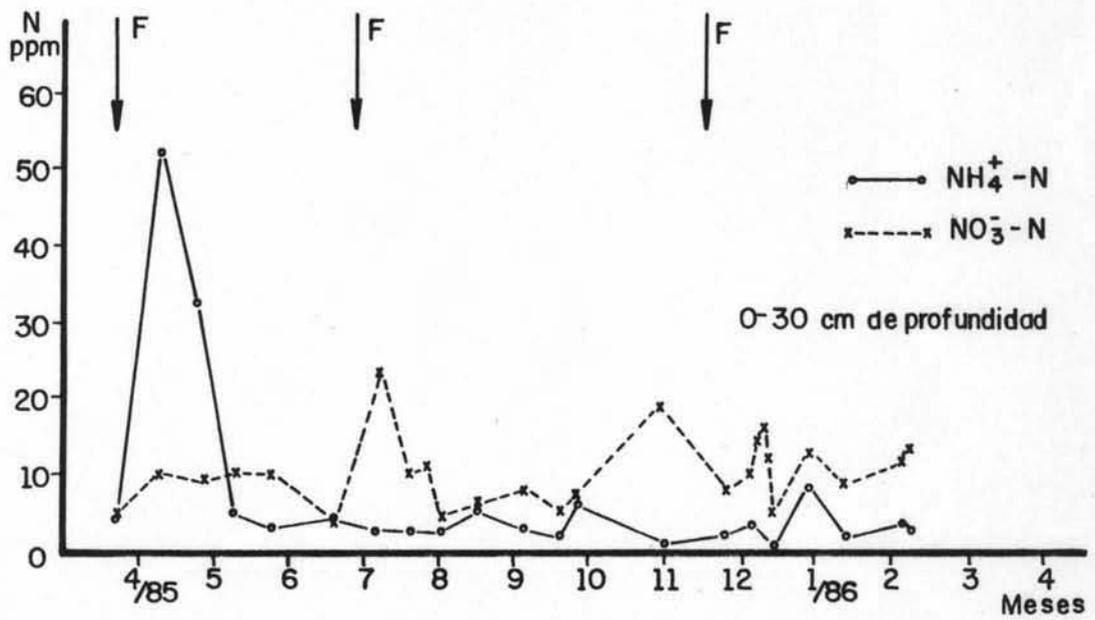


Fig. 22.- EXPTO 4. DINAMICA DEL  $\text{NH}_4^+$ -N Y  $\text{NO}_3^-$ -N EN LA DISTANCIA DE 65-75 cm, DEL EJE DE LA PLANTA Y EN LAS PROFUNDIDADES DE 0-30 cm Y 30-60 cm